

JP2001-135560
Our Ref.: PS-100100
Page 1

(19) Japanese Patent Office (JP)
(12) Patent Application Laid-Open Publication (A)

(51) Int. Cl.
H01L 21/027
G03F 7/20

(11) Publication No: 2001-135560
(43) Publication Date: May 18, 2001

(21) Application No: 1999-313205

(71) Applicant: Nikon

(22) Filing Date: November 4, 1999

(72) Inventor: Tanitsu Osamu
Shibuya Masato

(54) ILLUMINATION OPTICAL APPARATUS, EXPOSURE APPARATUS INCLUDING
THE SAME AND METHOD OF MANUFACTURING MICRO APPARATUS
USING THE SAME

(57) ABSTRACT

The present invention provides an illumination optical apparatus for adjusting an illumination NA and a size of an illumination region formed in an illumination target surface to a desired value respectively while preferably reducing light loss. The present invention relates to the illumination optical apparatus for illuminating an illumination target surface. The illumination optical apparatus comprises a first variable magnification optical system 4 with a variable focal length or magnification for adjusting an illumination numerical aperture on the illumination target surface and a second variable magnification optical system 7 with a variable focal length or magnification for changing a size of the illumination region formed on the illumination target surface.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. An illumination optical apparatus for illuminating an illumination target surface, comprising:
a first variable magnification optical system with a variable focal length or magnification for adjusting an illumination numerical aperture in the illumination target surface; and
a second variable magnification optical system with a variable focal length or magnification for changing a size of an illumination region formed on the illumination target surface.
2. The illumination optical apparatus according to claim 1, further comprising a regulating system for adjusting the focal length or the magnification of the first variable magnification optical system and the second variable magnification optical system in order to set the illumination numerical aperture and the size of the illumination region to a desired value, respectively.
3. The illumination optical apparatus according to claims 1 to 2, further comprising:
a light source means for supplying illumination light;
a multiple light source forming means for forming a number of light beams based on the illumination light; and
a light converting optical system for converting the light from the light source means into light with a predetermined cross-section,
wherein the first variable magnification optical system guides the light passing through the light converting optical system onto the multiple light source forming means, and the second variable magnification optical system guides the number of the light beams from the multiple light source forming means onto the illumination target surface.
4. The illumination optical apparatus according to claims 1 to 2, further comprising:
a light source means for supplying illumination light; and
a light converting optical system for converting the light from the light source means into light with a predetermined cross-section,
wherein the first variable magnification optical system guides the light from the light converting optical system to the second variable magnification optical system, and
the second variable magnification optical system comprises a multiple light source forming means for forming a number of light beams based on the light through the first variable magnification optical system and guides the light from the first variable magnification optical system onto the illumination target surface.
5. The exposure apparatus, comprising:
the illumination optical apparatus according to claims 1 to 4; and
an optical system for projection-exposing a pattern of a mask disposed on the illumination target surface onto a photosensitive substrate.
6. A method for manufacturing a micro device, comprising the steps of:
illuminating a mask disposed in the illumination target surface by the illumination optical

apparatus of the illumination optical apparatus according to claims 1 to 4; and transferring a pattern of the illuminated mask on a photosensitive substrate.

7. An exposure apparatus having an illumination optical apparatus for illuminating a pattern of a mask having a predetermined pattern with light for exposure and a projection system for projection-exposing an image of the pattern of the mask on a photosensitive substrate, comprising:

an input means for inputting information under an exposure condition in the photosensitive substrate or an illumination condition in the mask,

wherein the illumination optical apparatus comprises:

a light converting means for converting the light for exposure into light having a desired light intensity distribution based on the input information from the input means;

a first variable magnification optical system that adjusts an illumination numerical aperture in the mask based on the input information from the input means; and

a second variable magnification optical system that changes the size of the illumination region formed on the mask based on the input information from the input means.

8. The exposure apparatus according to claim 7, further comprising:

an optical integrator for uniformly illuminating the mask,

wherein, the first variable magnification optical system is disposed at an incident side of the optical integrator; and

the second variable magnification optical system is disposed at an emitting side of the optical integrator.

9. A method for manufacturing a micro device comprising the steps of illuminating a pattern of a mask having a predetermined pattern with light for exposure and projection-exposing an image of the pattern of the mask on a photosensitive substrate,

wherein illuminating a pattern of mask comprises:

inputting information under an exposure condition in the photosensitive substrate or an illumination condition in the mask;

converting the light for exposure into light having a desired light intensity distribution based on the input information from the input process;

changing the size of the illumination region formed on the mask based on the input information from the input process; and

adjusting an illumination numerical aperture in the mask based on the input information from the input means.

10. The method according to claim 9, wherein the step of adjusting the illumination numerical aperture comprises correcting a value of the illumination numerical aperture changed by changing the size of an illumination region to substantially constantly maintain the value of the illumination numerical aperture.

11. An exposure apparatus having an illumination optical apparatus for illuminating a pattern of a mask having a predetermined pattern with light for exposure and a projection

system for projection-exposing an image of the pattern of the mask on a photosensitive substrate,

wherein the illumination optical apparatus comprises:

a light converting means for converting the light for exposure into light having a desired light intensity distribution based on the input information from the input means;

a first variable magnification optical system that adjusts an illumination numerical aperture in the mask based on the input information from the input means; and

a second variable magnification optical system that changes the size of the illumination region formed on the mask based on the input information from the input means.

12. The exposure apparatus according to claim 11, wherein the changing means comprises a light converting means for selectively converting the light for exposure into one of a plurality of light having different light intensity distributions.

13. The exposure apparatus according to claim 12, wherein the light converting means has a first diffraction optical member for forming a first light intensity distribution and a second diffraction optical member for forming a second light intensity distribution different from the first light intensity distribution,

wherein the second diffraction optical member is replaceable with the first diffraction optical member relative to an optical path.

14. A method for manufacturing a micro device comprising the steps of illuminating a pattern of a mask with a predetermined pattern using an illumination optical apparatus and projection-exposing an image of the pattern of the mask on a photosensitive substrate using a projection system,

wherein illuminating the pattern of the mask comprises:

changing light intensity distribution in a pupil position of the illumination optical apparatus or in the vicinity thereof; and

adjusting an illumination numerical aperture in the mask according to the change of the light intensity distribution by changing the light intensity distribution.

**ILLUMINATION OPTICAL APPARATUS, EXPOSURE APPARATUS INCLUDING
THE SAME AND METHOD OF MANUFACTURING MICRO APPARATUS USING
THE SAME**

Background of the Invention

Industrially Applicable Field

[0001] The present invention relates to an illumination optical apparatus and an exposure apparatus with the illumination optical apparatus. In particular, the present invention relates to an illumination optical apparatus suitable for an exposure apparatus for manufacturing a micro device such as a semiconductor element, an imaging element, a liquid crystal display element, and a thin film magnetic head by a photolithography process.

Background Arts

[0002] In such a typical exposure apparatus, light emitted from a light source enters into an optical integrator such as a micro fly's eye and forms a secondary light source, which consists of a number of light source images, in a rear focal plane thereof. The light from the secondary light source is restricted while passing through an aperture stop disposed in the vicinity thereof and then enters into a condenser lens. The aperture stop restricts a shape or size of the secondary light source to a desired shape or size according to a desired illumination condition (exposure condition). The light concentrated by the condenser lens forms a rectangular illumination region in a predetermined surface that conjugates with a mask. Mask blinds are disposed near the predetermined surface as illumination field stops.

[0003] Thus, the light from the rectangular illumination region formed in the predetermined surface is restricted through an illumination field stop and then passes through a relay lens to superposedly illuminate the mask with predetermined patterns formed thereon. Thus, images of openings of the illumination field stop are formed on the mask as a rectangular illumination region. The light passing through the pattern of the mask is imaged on a wafer through a projection optical system. In this way, the mask pattern is projection-exposed (transferred) on the wafer. The pattern formed in the mask is heavily concentrated; thus, in order to accurately transfer such a micro pattern on the wafer, it is necessary to form a uniform illuminance distribution on a wafer.

[0004] Attention has been made in recent years to a technology that changes the size of the opening (light transmitting portion) of the aperture stop disposed at an emitting side of an optical integrator to change the size of the secondary light source formed through the optical integrator, and thereby changing a coherency σ of illumination (σ value = a diameter of an aperture stop / a diameter of a pupil of a projection optical system, or σ value = a numerical aperture in an emitting side of an illumination optical system / a numerical aperture in an incident side of a projection optical system). Further, attention has been made to a technology wherein the shape of the opening of the aperture stop disposed at the emitting side

of the optical integrator is set to an annular shape or a shape with 4 holes (i.e., quadrupolar shape) to restrict the shape of the secondary light source formed by the optical integrator to an annular shape or a quadrupolar shape, and thereby enhancing the depth of focus or resolution of a projection optical system.

Problems to be resolved by the Invention

[0005] In an exposure apparatus, there may be a need to change a size of an illumination region, i.e., an exposure region, formed on a photosensitive substrate such as a wafer according to a characteristic of a micro device to be manufactured. In other words, there may be a need to change the size of the illumination region formed on the mask according to the characteristic of the mask to be used. For example, a method of reducing the size of an opening of an illumination field stop can be considered to form an illumination region that is smaller than a standard illumination region. However, in such a method, light loss occurs in an illumination field stop, thereby decreasing the throughput of an exposure apparatus.

[0006] Meanwhile, in order to substantially avoid light loss in an illumination field stop, for example, a method of changing the magnification of a relay lens to reduce the illumination region formed on a mask and further an exposure region formed on a photosensitive substrate can be also considered. However, in such a method, the illumination numerical aperture (hereinafter, "illumination NA") is changed and further the optimally designed σ value is changed according to the change in the size of the illumination region formed on a mask.

[0007] As such, there is a demand in an exposure apparatus that a σ value must be adjusted to a desired value to have the size of an exposure region according to the characteristic of a micro device to be manufactured. In other words, in an illumination optical apparatus for use with an exposure apparatus, there is a demand that the illumination NA must be adjusted to a desired value to have the size of an illumination region according to the characteristic of a mask to be used. In addition, a micro device, which is mentioned in the present invention, comprises a semiconductor element with such as semiconductor integrated circuits, a highly micro flat-panel display, an imaging element such as a CCD, a magnetic head for a personal computer hard disk, a diffraction optical element, etc.

[0008] Further, there is a problem in that when a light intensity distribution of a secondary light source formed by an optical integrator (a light intensity distribution formed in a pupil position of an illumination apparatus for exposure or in the vicinity thereof) is changed into a desired shape (for example, one of a circular shape, an annular shape, or a quadrupolar shape) or a desired size (for example, a size of a circular shape, an annular shape, or a quadrupolar shape) in order to change an exposure condition or an illumination condition, an illumination numerical aperture (NA) in a mask as an illumination target is changed and a preferable mask pattern cannot be exposed to a photosensitive substrate such as a wafer based on the desired exposure condition or illumination condition.

[0009] In view of the foregoing, it is an object of the present invention to provide an

illumination optical apparatus, an exposure apparatus with the illumination optical apparatus, and a method for manufacturing a micro device using the exposure apparatus that are capable of adjusting an illumination NA and a size of an illumination region formed in an illumination target surface to a desired value, respectively, while preferably suppressing the light loss.

It is a further object of the present invention to provide an exposure apparatus and a method for manufacturing a micro device that can preferably expose the mask pattern on a photosensitive substrate such as a wafer based on the desired exposure condition or a desired illumination condition even when an exposure condition or an illumination condition is changed.

Means for resolving the Problem

[0010] In order to accomplish the aforementioned objects, according to the first aspect of the present invention, there is provided an illumination optical apparatus for illuminating an illumination target surface. The illumination optical apparatus is characterized in that it has a first variable magnification optical system with a variable focal length or magnification for adjusting an illumination numerical aperture in the illumination target surface; and a second variable magnification optical system with a variable focal length or magnification for changing a size of an illumination region formed in the illumination target surface.

[0011] According to a preferable embodiment of the first aspect, in order to set the illumination numerical aperture and the size of the illumination region to a desired value respectively, it is preferred that the illumination optical apparatus has a regulating system for adjusting the focal length or the magnification of the first variable magnification optical system and the second variable magnification optical system.

[0012] Further, according to a preferred embodiment of the first aspect, it is preferred that the illumination optical apparatus has a light source means for supplying illumination light; a multiple light source forming means for forming a number of light beams based on the illumination light; and a light converting optical system for converting the light from the light source means into light with a predetermined cross-section, and wherein the first variable magnification optical system guides the light passing through the light converting optical system onto the multiple light source forming means and the second variable magnification optical system guides the number of the light beams from the multiple light source forming means onto the illumination target surface.

[0013] In this case, it is preferred that the multiple light source forming means has a wavefront-splitting type optical integrator; the first variable magnification optical system converts the divergence light formed through the light converting optical system into substantially parallel light to guide the light onto an incident surface of the wavefront-splitting type optical integrator; and the regulating system changes a focal length of the second variable magnification optical system in order to adjust the size of the illumination region formed in the illumination target surface to a desired value and changes a focal length

of the first variable magnification optical system in order to adjust the illumination numerical aperture that changed according to the change in the focal length of the second variable magnification optical system to a desired value.

[0014] Further, it is preferred that the multiple light source forming means has an internal reflection type optical integrator; the first variable magnification optical system concentrates a divergence light formed through the light converting optical system in the vicinity of the incident surface of the internal reflection type optical integrator; and the regulating system changes the magnification of the second variable power optical system in order to adjust the size of the illumination region that formed in the illumination target surface to a desired value, and changes the magnification of the first variable magnification optical system in order to adjust the illumination numerical aperture that changed according to the change in the magnification of the second variable magnification optical system to a desired value.

[0015] Further, according to a preferred embodiment of the first aspect, it is preferred that the illumination optical apparatus has a light source means for supplying illumination light and a light converting optical system for converting the light from the light source means into light with a predetermined cross-section shape, wherein the first variable magnification optical system guides the light from the light converting optical system to the second variable magnification optical system; and the second variable magnification optical system comprises a multiple light source forming means for forming a number of light beams based on the light through the first variable magnification optical system, and guides the light from the first variable magnification optical system onto the illumination target surface.

[0016] In this case, it is preferred that the multiple light source forming means has an optical integrator group comprising a plurality of wavefront-splitting type optical integrators movable along an optical axis and having a variable focal length; the first variable magnification optical system converts a divergence light formed through the light converting optical system into substantially parallel light to guide the light to an incident surface of the optical integrator group; and the regulating system changes a focal length of the optical integrator group in order to change only the size of the illumination region formed on the illumination target surface to adjust the size to a desired value, and changes a focal length of the first variable magnification optical system in order to change only the illumination numerical aperture to adjust the illumination numerical aperture to a desired value.

[0017] Further, in this case, it is preferred that the optical integrator group has, in order from the light source side, a first optical integrator movable along the optical axis and having a positive refracting power; a second optical integrator movable along the optical axis and having a negative refracting power; and a third optical integrator fixed relative to the optical axis and having a positive refracting power, wherein the regulating system moves the first optical integrator and the second optical integrator along the optical axis independently of each other in order to change the focal lengths continuously without moving the rear focal surface of the optical integrator group.

[0018] Further, according to a preferred embodiment of the first aspect, it is preferred that the light converting optical system has a plurality of diffraction optical elements configured to be freely inserted to and retracted from an illumination optical path; and the plurality of the diffraction optical elements convert the substantial parallel light from the light source means into the divergence light with a cross section different from one another.

[0019] Further, according to the second aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus having the illumination optical apparatus according the first aspect and a projection optical system for projection-exposing a pattern of a mask disposed on the illumination target surface onto a photosensitive substrate. In this case, it is preferred that the regulating system adjusts the focal length or the magnification of each of the first variable magnification optical system and the second variable magnification optical system based on the information on the pattern of the mask.

[0020] Further, according to the third aspect of the present invention, there is provided a method for manufacturing a micro device comprising illuminating a mask disposed in the illumination target surface by the illumination optical apparatus of the first aspect and transferring a pattern of the illuminated mask on a photosensitive substrate. In this case, it is preferred that the method further comprises adjusting the focal length or the magnification of each of the first variable magnification optical system and the second variable magnification optical system based on the information on the pattern of the mask.

[0021] Further, in order to accomplish the other object, according to the fourth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus that has an illumination optical apparatus for illuminating a pattern of a mask having a predetermined pattern with light for exposure; a projection system for projection-exposing an image of the pattern of the mask on a photosensitive substrate and an input means for inputting information under an exposure condition in the photosensitive substrate or an illumination condition in the mask, wherein the illumination optical apparatus comprises a light converting means for converting the light for exposure into light having a desired light intensity distribution based on the input information from the input means; a first variable magnification optical system that adjusts an illumination numerical aperture in the mask based on the input information from the input means; and a second variable magnification optical system that changes the size of an illumination region formed on the mask based on the input information from the input means. In this case, it is preferred that the illumination optical apparatus comprises an optical integrator for uniformly illuminating the mask; the first variable magnification optical system is disposed at an incident side of the optical integrator; and the second variable magnification optical system is disposed at an emitting side of the optical integrator.

[0022] Further, according to the fifth aspect of the present invention, there is provided a method for manufacturing a micro device comprising illuminating a pattern of a mask having a predetermined pattern with light for exposure and projection-exposing an image of the pattern of the mask on a photosensitive substrate, wherein illuminating a pattern of mask comprises inputting an information on an exposure condition in the photosensitive substrate

or an illumination condition in the mask; converting the light for exposure into light having a desired light intensity distribution based on the input information from the input process; changing the size of an illumination region formed in the mask based on the input information from the input process; and adjusting an illumination numerical aperture in the mask based on the input information from the input means. In this case, it is preferred that adjusting the illumination numerical aperture comprises correcting a value of the illumination numerical aperture that changed by changing the size of an illumination region to substantially constantly maintain the value of the illumination numerical aperture.

[0023] Further, according to the sixth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus having an illumination optical apparatus that illuminates a pattern of a mask with a predetermined pattern by light for exposure and a projection system that projection-exposes an image of the pattern of the mask on a photosensitive substrate, wherein the illumination optical apparatus has a changing means for changing a light intensity distribution in a pupil position of the illumination optical apparatus or in the vicinity thereof and an adjusting means for adjusting an illumination numerical aperture in the mask according to the change of the light intensity distribution by the changing means. In this case, it is preferred that the changing means comprises a light converting means for selectively converting the light for exposure into one of a plurality of light having different light intensity distributions. Further, in this case, it is preferred that the light converting means has a first diffraction optical member for forming a first light intensity distribution; and a second diffraction optical member for forming a second light intensity distribution different from the first light intensity distribution, wherein the second diffraction optical member is replaceable with the first diffraction optical member relative to an optical path.

[0024] Further, according to the seventh invention of the present invention, there is provided a method for manufacturing a micro device comprising illuminating a pattern of a mask with a predetermined pattern using an illumination optical apparatus and projection-exposing an image of the pattern of the mask on a photosensitive substrate using a projection system, wherein illuminating the pattern of the mask comprises changing a light intensity distribution in a pupil position of the illumination optical apparatus or in the vicinity thereof; and adjusting an illumination numerical aperture in the mask according to the change of the light intensity distribution by changing the light intensity distribution.

Embodiments

[0025] The present invention has a first variable magnification optical system for adjusting an illumination NA in an illumination target surface and a second variable magnification optical system for changing a size of an illumination region formed in the illumination target surface. Further, in an exemplary embodiment of the present invention, there is provided a light converting optical system for converting light from a light source means into divergence light with a predetermined cross-section shape, and the first variable magnification optical system condenses such divergence light and guides it onto an incident surface of a multiple light source forming means, and the second variable magnification optical system condenses

light from the multiple light source forming means and guides it onto the illumination target surface.

[0026] Specifically, in case of using a wavefront-splitting type optical integrator such as a micro fly's eye or a fly's eye lens as the multiple light source forming means, the first variable magnification optical system converts the divergence light formed through the light converting optical system into substantially parallel light and guides it to an incident surface of the optical integrator. The second variable magnification optical system condenses light from a secondary light source formed in a rear focal surface of the optical integrator and guides it to the illumination target surface. In this case, the shape of each lens element (or micro lens) constituting a micro fly's eye or a fly's eye lens differs from the shape of an illumination region formed in the illumination target surface. Further, their sizes depend upon a focal length of the second variable magnification optical system.

[0027] Thus, if the focal length of the second variable magnification optical system is changed, the size of the illumination region formed in the illumination target surface is changed and the illumination NA in the illumination target surface is also changed. On the other hand, if the focal length of the first variable magnification optical system is changed, a size of an illumination region formed in the incident surface of the optical integrator is changed, thereby only the illumination NA is changed without any change in the size of the illumination region. In this way, by changing the focal length of the second variable magnification optical system, the size of the illumination region formed in the illumination target surface can be changed and adjusted to a desired value. Also, by changing the focal length of the first variable magnification optical system, the illumination NA, which has changed with the change in the focal length of the second variable magnification optical system, can be adjusted to a desired value.

[0028] As such, the illumination optical apparatus of the present invention may adjust the illumination NA and the size of the illumination region to a desired value, respectively, while preferably reducing light loss, by adjusting the focal length (or magnification) of each of the first variable magnification optical system and the second variable magnification optical system. Thus, an exposure apparatus incorporating the illumination optical apparatus of the present invention may adjust a size and σ value of an exposure region to a desired value, respectively, while preferably reducing light loss in an aperture stop or an illumination field stop. That is, the exposure apparatus of the present invention may set a size and σ value of an illumination region (exposure region), respectively, to a proper value according to a characteristic of a micro device to be manufactured or a characteristic of a mask to be used; and may perform good projection exposure with a high throughput based on high exposure illuminance and a good exposure condition.

[0029] Further, an exposure method or a manufacturing method of a micro device, which exposes a pattern of a mask disposed in the illumination target surface to a photosensitive substrate using the illumination optical apparatus of the present invention, may manufacture a good micro device, since it may perform a good projection exposure based on a good

exposure condition.

[0030] Further, in the present invention, if a light intensity distribution in a pupil position of an illumination optical system (a position of a secondary light source formed by an optical integrator or a position optically conjugated therewith) or in the vicinity thereof is changed by a changing means or a light converting means (e.g., a mechanism for positioning one of a diffraction optical member 3 for forming a circular light, a diffraction optical member 3a for forming an annular light, and a diffraction optical member 3b for forming a quadrupolar light in an illumination optical path), in order to change an exposure condition or an illumination condition, the illumination numerical aperture is changed. However, adjustment (change) of a magnification or a focal length of the first variable magnification optical system as an adjustment means can correct the change in the illumination numerical aperture. Accordingly, an exposure apparatus and a method for manufacturing a micro device, which may expose a mask pattern to a photosensitive substrate such as a wafer based on the desired exposure condition or illumination condition, can be realized.

[0031] The embodiments of the present invention will now be described with reference to the accompanying drawings. Fig. 1 schematically shows a configuration of an exposure apparatus having an illumination optical apparatus according to the first embodiment of the present invention. Further, in Fig. 1, the illumination optical apparatus is configured to perform a typical circular illumination. The exposure apparatus in Fig. 1 has an excimer laser light source, for example which supplies light having such a wavelength of 248nm or 193nm as a light source 1 for supplying an exposure light (illumination light). The substantially parallel light, which is emitted from the light source 1 along a standard optical axis AX, passes through a shaping optical system (not shown) to be shaped to light with a predetermined rectangular cross-section and then enters into a light delay part 2.

[0032] Fig. 2 is a perspective view illustrating an internal configuration and operation of the light delay part 2. As shown in Fig. 2, the light delay part 2 is provided with a half mirror 200 obliquely disposed at 45 degrees with respect to the optical axis AX. Thus, the light, which enters into the half mirror 200 along the optical axis AX, is divided into the light passing through the half mirror 200 and the light reflected in a +X direction from the half mirror 200. The light passing through the half mirror 200 then enters into a diffraction optical element (DOE) 3 for circular illumination.

[0033] Further, the light reflected in the +X direction from the half mirror 200 is reflected in a -Y direction at a first reflection mirror 201, and is further reflected in a -X direction at a second reflection mirror 202, and is then reflected in a +Y direction at a third reflection mirror 203. Hereafter, it is reflected in a +X direction at a fourth reflection mirror 204 and finally returns to the half mirror 200. The light returning to the half mirror 200 is divided into the light passing through the half mirror 200 and the light reflected in a -Z direction at the half mirror 200. The light reflected in the -Z direction at the half mirror 200 enters into the diffraction optical element 3 along the optical axis AX. On the other hand, the light passing through the half mirror 200 passes through the first reflection mirror 201 to the fourth

reflection mirror 204 and then returns to the half mirror 200 again.

[0034] As such, the light that enters into the light delay part 2 is divided into the light passing through the half mirror 200 as a beam splitter and the light reflected at the half mirror 200. The light reflected at the half mirror 200 is sequentially deflected by the four reflection mirrors 201 to 204, which are arranged to form a rectangular delayed optical path, and then returns to the half mirror 200. In this case, the four reflection mirrors 201 to 204 are disposed such that an incident position of the light that enters into the half mirror 200 along the optical axis AX coincides with a re-incident position that the light returns to the half mirror 200 through the rectangular delayed optical path.

[0035] Thus, light P1, which is reflected in the $-Z$ direction at the half mirror 200 after passing through the delayed optical path one time, is emitted along the same optical axis AX as that of light P0 passing through the half mirror 200 without passing through the delayed optical path. As a result, a difference in optical path length equivalent to an optical path length of the delayed optical path is imparted between the light P0 and the light P1. Similarly, light P2, which is reflected at the half mirror 200 after passing through the delayed optical path two times, is emitted along the same optical axis AX as those of the light P0 and the light P1. In this case, a difference in optical path length equivalent to twice of the optical path length of the delayed optical path is imparted between the light P0 and the light P2, while the difference in optical path length equivalent to the optical path length of the delayed optical path is imparted between the light P1 and the light P2. That is, the light delay part 2 divides the light incoming along the optical axis AX into a plurality of light (which are infinite light in theory, however, when ignoring the influences of light with small energy, they are finite light in practical) according to time, and imparts the difference in optical path length equivalent to the optical path length of the delayed optical path between two time-successive light.

[0036] In general, a reflectance of a reflection mirror differs between the P polarization incidence and S polarization incidence, wherein the S polarization incidence may ensure a reflectance higher than the P polarization incidence. Thus, in order to avoid light loss in the delayed optical path, the light delay part 2 is preferably configured such that light enters at the S polarization state with respect to the four reflection mirrors 201 to 204. In this embodiment, since light enters at the P polarization state with respect to the half mirror 200 as shown in Fig. 2, the S polarization incidence can occur at the four reflection mirrors 201 to 204.

[0037] As such, since the light delay part 2 divides the light incoming along the optical axis AX into a plurality of light according to time, the difference in optical path length equivalent to the optical path length of the delayed optical path is imparted between two time-successive light, wherein, the imparted difference in optical path length is set more than a coherent distance in time of light from the coherent light source 1. Thus, the coherence in wavefronts divided by the light delay part 2 can be decreased and occurrence of interference fringes or speckles in the illumination target surface can be preferably reduced. A further detailed

configuration and operation of such a light delaying means are disclosed in the following references: Japanese Patent Application Laid-open No. (Hei) 11-174635, Japanese Patent Application Laid-open No. (Hei) 10-117464, Japanese Patent Application Laid-open No. (Hei) 11-21591, and Japanese Patent Application Laid-open No. (Hei) 11-25629.

[0038] As described above, the substantially parallel light with a rectangular cross section passing through the light delay part 2 enters into the diffraction optical element 3. In general, the diffraction optical element forms steps having a pitch corresponding to a wavelength of an exposure light (illumination light) on a glass substrate and diffracts an incident light to a desired angle. Specifically, the diffraction optical element 3 for circular illumination converts the substantially parallel light with a rectangular cross section incoming along the optical axis AX into divergence light with a circular cross section. As such, the diffraction optical element 3 constitutes a light converting optical system for converting the light from the light source 1 into divergence light with a predetermined cross section (in this embodiment, circular cross section).

[0039] The circular divergence light passing through the diffraction optical element 3 passes through a zoom lens 4 as a first condenser optical system (a first variable magnification optical system) and then enters into a micro fly's eye 5 as a multiple light source forming means or a light integrator. In this way, a circular illumination region is formed in an incident surface of the micro fly's eye 5. Further, a size of the illumination region (e.g., a diameter or radius thereof) varies depending upon a focal length of the zoom lens 4 as described below. Further, the micro fly's eye 5 is an optical element comprising a number of micro lenses (micro lens element) having a positive refraction power, which are densely arranged lengthwise and widthwise. In general, a micro fly's eye is configured by etching a flat glass substrate, thereby forming a micro lens group.

[0040] In this case, each of micro lens constituting a micro fly's eye is finer than each of lens elements constituting a fly's eye lens. Further, the micro fly's eye is different from a fly's eye lens comprising lens elements separated apart from one another and a number of micro lenses are integrally formed without separation from one another. However, the micro fly's eye is equal to the fly's eye lens in that lens elements having a positive refracting power are arranged lengthwise and widthwise. In Fig. 1 and Figs 3, 6 and 7, which are related to Fig. 1, only a small number of the micro lenses constituting the micro fly's eye are illustrated for clarification of the drawing.

[0041] Accordingly, the light which enters into the micro fly's eye 5 is two-dimensionally divided by a number of the micro lenses, thereby forming one light source image, respectively, in a rear focal surface of each of the micro lenses (i.e., in the vicinity of an emitting side thereof). In this way, a number of circular light sources (hereinafter, secondary light source), which are equal to the illumination region formed by the incident light into the micro fly's eye 5, are formed in the rear focal surface of the micro fly's eye 5. As such, the micro fly's eye 5 is a wavefront-splitting type optical integrator and constitutes a multiple light source forming means for forming multiple light sources (multiple lights) based

on the light from the light source 1.

[0042] Further, the zoom lens 4 preferably varies continuously in its focal length, such that a front focal surface of the zoom lens coincides with a diffraction surface of the diffraction optical element 3 and the rear focal surface of the zoom lens coincides with the incident surface of the micro fly's eye 5. Thus, it is preferred that the zoom lens 4 has three lens groups independently movable along the optical axis. The light from the circular secondary light source formed in the rear focal surface of the micro fly's eye enters into an aperture stop 6 for circular illumination, which is disposed in the vicinity thereof. The aperture stop 6 has a circular opening (light transmitting portion) corresponding to the circular secondary light source formed in the rear focal surface of the micro fly's eye 5.

[0043] Further, the diffraction optical element 3 is configured to be freely inserted to and retracted from the illumination optical path. Also, the diffraction optical element 3 is configured to be exchangeable with a diffraction optical element 3a for annular illumination or a diffraction optical element 3b for quadrupolar illumination. The configurations and operations of the diffraction optical element 3a for annular illumination and the diffraction optical element 3b for quadrupolar illumination will be described below. Further, as described above, the zoom lens 4 is configured to successively vary in its focal length within a predetermined range. Further, the aperture stop 6 is configured to be freely inserted to and retracted from the illumination optical path. Also, the aperture stop 6 is configured to be exchangeable with a plurality of aperture stops for circular illumination with differently sized openings, a plurality of aperture stops for annular illumination with differently sized openings, or a plurality of aperture stops for quadrupolar illumination with differently sized openings.

[0044] In this embodiment, a first drive system 22, which is operated in accordance with the commands from a control system 21, performs replacement among the diffraction optical element 3 for circular illumination, the diffraction optical element 3a for annular illumination, and the diffraction optical element 3b for quadrupolar illumination. Further, a second drive system 23, which is operated in accordance with the commands from the control system 21, changes in the focal length of the zoom lens 4.

[0045] Further, a third drive system 24, which is operated in accordance with the commands from the control system 21, performs replacement between the aperture stop 6 and another aperture stop. Further, the replacement between the aperture stop 6 for circular illumination and another aperture stop may be performed in any other appropriate manner, such as a turret manner or a slide manner. Further, instead of an aperture stop of a turret manner or a slide manner, an aperture stop, which is capable of suitably changing a size or shape of a light transmission region, may be fixedly mounted in the illumination optical path. Further, instead of a plurality of circular aperture stop, an iris diaphragm capable of successively changing a diameter of a circular opening may be provided.

[0046] The light from the secondary light source, which passes through the aperture stop 6 having a circular opening, is condensed by a zoom lens 7 (second condenser optical system,

second variable magnification optical system), and then superposedly illuminates a predetermined surface which is optically conjugated with a mask 10 (it will be described below). In this way, a rectangular illumination region similar with the shape of each micro lens constituting the micro fly's eye 5 is formed in the predetermined surface. Further, as described below, an illumination NA and a size of the rectangular illumination region formed in the predetermined surface vary depending upon the focal length of the zoom lens 7.

[0047] Preferably, the zoom lens 7 successively changes its focal length such that a front focal surface of the zoom lens 7 and the rear focal surface of the micro fly's eye 5 coincide with each other and the rear focal plane of the zoom lens 7 and the aforementioned predetermined surface coincide with each other. Accordingly, it is preferred that the zoom lens 7 is provided with three lens groups independently movable along the optical axis as the zoom lens 4. As such, the zoom lens 7 is configured to successively change its focal length within a predetermined range, wherein the change in focal length is performed by a fourth drive system 25 that is operated in accordance with the commands from the control system 21.

[0048] Mask blinds 8 are disposed as illumination field stops in the predetermined surface, which are optically conjugated with the mask 10. The light passing through an opening (light transmitting portion) of the mask blinds 8 is condensed by a relay optical system 9, and then uniformly and superposedly illuminates the mask 10 with predetermined pattern formed thereon. In this way, the relay optical system 9 forms an image of the rectangular opening of the mask blinds 8 on the mask 10.

[0049] The light transmitting the patterns of the mask 10 passes through the projection optical system 11 and then forms an image of the mask pattern on a wafer (or plate) 12 of a photosensitive substrate. Further, the wafer 12 is held on a wafer stage 13 which is two-dimensionally movable within a plane orthogonal to the optical axis AX of the projection optical system 11. In this way, the patterns of the mask 10 are exposed on each exposure region (shot region) of the wafer 12 one after another by performing an one-shot exposure or a scan exposure (scanning exposure) while controlling the two-dimensional driving of the wafer 12.

[0050] In the one-shot exposure method, the mask patterns are exposed at a time on each exposure region of a wafer according to what is called a step-and-repeat method. In this case, the shape of an illumination region on the mask 10 becomes a rectangular shape similar to a square, and a cross-section of each micro lens of the micro fly's eye 5 also becomes a rectangular shape similar to a square. Meanwhile, in the scan exposure method, the mask patterns are scan-exposed on each exposure region of the wafer, while the mask and the wafer are moved with respect to a projection optical system, according to what is called a step and scan method. In this case, the shape of an illumination region on the mask 10 becomes a rectangular shape such that a ratio of a shorter side to a longer side is 1:3, and a cross-section of each micro lens of the micro fly's eye 5 becomes a rectangular shape similar to the aforementioned rectangular shape.

JP2001-135560

Our Ref.: PS-100100

Page 17

[0051] Fig. 3 illustrates relationship between the focal length of the zoom lens 4 and the zoom lens 7; and the illumination NA and the size of the rectangular illumination region formed in the predetermined surface conjugated with the mask 10. In Fig. 3(a), the light 30 emitted from an intersection between the diffracting surface of the diffraction optical element 3 and the optical axis AX at a maximum emitting angle θ_1 passes through the zoom lens 4 set to a maximum focal length f_{11} to be parallel to the optical axis AX, and then enters into the micro fly's eye 5. The micro fly's eye 5 consists of the micro lenses with a focal length f_m . In Fig. 3, the size of each micro lens is d .

[0052] An outermost light 31 emitted parallel to the optical axis AX from the micro fly's eye 5 passes through the zoom lens 7 set to a maximum focal length f_{21} , and then arrives at the intersection between the optical axis AX and the predetermined surface 32 conjugated with the mask 10 at an incidence angle θ_{21} . In this way, the rectangular illumination region 33 similar with the shape of the micro lens is formed in the predetermined surface 32. Further, in Fig. 3, the size of the illumination region 33 is ϕ_1 .

[0053] In such a case, as shown in Fig. 3(b), while changing the focal length of the zoom lens 4 from the maximum focal length f_{11} to the minimum focal length f_{12} , the focal length of the zoom lens 7 is changed from the maximum focal length f_{21} to the minimum focal length f_{22} . In this case, the light 30 emitted from the intersection between the optical axis AX and the diffracting surface of the diffraction optical element 3 at the maximum emitting angle θ_1 passes through the zoom lens 4 set to the minimum focal length f_{12} to be parallel to the optical axis AX, and then enters into the micro fly's eye 5.

[0054] The outermost light 31 emitted parallel to the optical axis AX from the micro fly's eye 5 passes through the zoom lens 7 set to the minimum focal length f_{22} , and then arrives at the intersection between the optical axis AX and the predetermined surface 32 conjugated with the mask 10 at an incidence angle θ_{22} . In this way, the rectangular illumination region 33 similar with the shape of the micro lens is formed in the predetermined surface 32. In Fig. 3, the size of the illumination region 33 is ϕ_2 .

[0055] In Fig. 3(a), the following formulas (1) and (2) are satisfied:

$$f_{11} \cdot \sin\theta_{12} = f_{21} \cdot \sin\theta_{21} \quad (1)$$

$$\phi_1 = (f_{21} / f_m) d \quad (2)$$

Further, in Fig. 3(b), the following formulas (3) and (4) are satisfied:

$$f_{12} \cdot \sin\theta_{11} = f_{22} \cdot \sin\theta_{22} \quad (3)$$

$$\phi_2 = (f_{22} / f_m) d \quad (4)$$

[0056] Referring to the formulas (2) and (4) as above, it should be noted that the

JP2001-135560

Our Ref.: PS-100100

Page 18

illumination region 33 is a projection of the micro lens by the zoom lens 7 and the size ϕ of the illumination region 33 is proportional to the focal length f_2 of the zoom lens 7. That is, it may readily be shown that the size ϕ_1 of the illumination region 33 in Fig. 3(a) is the maximum size and the size ϕ_2 of the illumination region 33 in Fig. 3(b) is the minimum size.

[0057] Referring to the formulas (1) and (3) as above, since θ_1 is a characteristic value of the diffraction optical element 3, it should be noted that a sine value ($\sin\theta$) of the incidence angle θ_2 into the predetermined surface 32 depends upon a ratio of the focal length f_1 of the zoom lens 4 to the focal length f_2 of the zoom lens 7 (i.e., f_1/f_2). In other words, it may readily be shown that the illumination NA of the illumination region 33 in Fig. 3(a) is proportional to f_{11}/f_{21} and the illumination NA of the illumination region 33 in Fig. 3(b) is proportional to f_{12}/f_{22} .

[0058] Further, as shown in Figs. 3(a) and 3(b), the size of the circular illumination region formed in the incident surface of the micro fly's eye 5 is proportional to the focal length f_1 of the zoom lens 4. That is, it should be noted that the size of the illumination region formed in the incident surface of the micro fly's eye 5 in Fig. 3(a) is maximum and the size of the illumination region formed in the incident surface of the micro fly's eye 5 in Fig. 3(b) is minimum.

[0059] As such, if the focal length f_2 of the zoom lens 7 is changed, the size of the illumination region formed in the predetermined surface 32, the size of the illumination region formed in the pattern surface of the mask 10, and the size of the exposure region formed in the exposure surface of the wafer 12 are changed. Further, with change in the focal length f_2 of the zoom lens 7, the illumination NA in the predetermined surface 32 and further the illumination NA in the pattern surface of the mask 10 are changed. More specifically, if the focal length f_2 of the zoom lens 7 is enlarged, the illumination region on the mask 10 is enlarged and thus the illumination NA is enlarged. As such, the zoom lens 7 constitutes the second variable magnification optical system for changing the size of the illumination region formed on the mask 10 (and further the wafer 12) that is an illumination target surface.

[0060] Meanwhile, if the focal length f_1 of the zoom lens 4 is changed, the size of the illumination region formed in the incident surface of the micro fly's eye 5 is changed without change of the size of the illumination region formed in the pattern surface of the mask 10, thereby changing the illumination NA on the mask 10. More specifically, if the focal length f_1 of the zoom lens 4 is small, only the illumination NA on the mask 10 becomes small without any change in the size of the illumination region on the mask 10. As such, the zoom lens 4 constitutes the first variable magnification optical system for changing only the illumination NA on the mask 10 that is the illumination target surface.

[0061] Accordingly, in this embodiment, the illumination region of a desired size can be obtained on the mask 10 without any substantial light loss in the mask blinds 8 by setting the focal length of the zoom lens 7 to a predetermined value. Further, the illumination NA of a

desired size can be obtained on the mask 10 without any substantial light loss in the aperture stop 6 by setting the focal length of the zoom lens 4 to a predetermined value with respect to the focal length of the zoom lens 7 set to the predetermined value.

[0062] As described above, the diffraction optical element 3 is configured to be inserted to and retracted from the illumination optical path. Further, the diffraction optical element 3 is configured to be exchangeable with the diffraction optical element 3a for annular illumination and the diffraction optical element 3b for quadrupolar illumination. The annular illumination obtained by providing the diffraction optical element 3a, instead of the diffraction optical element 3, in the illumination optical path will be described below.

[0063] Fig. 4 illustrates an operation of the diffraction optical element 3a for annular illumination. As shown in Fig. 4, the diffraction optical element 3a for annular illumination converts the circular light, which has a circular cross section and normally enters along the optical axis AX, into a ring-shaped light having a ring-shaped cross section by omnidirectionally and equiangularly diffracting the light with respect to the optical axis AX. Thus, when the parallel light of a circular cross section enters into the diffraction optical element 3a along the optical axis AX, it becomes an annular divergence light as shown in Fig. 4. As such, the diffraction optical element 3a constitutes the light converting optical system for converting the light from the light source 1 into substantially annular divergence light.

[0064] The annular divergence light passing through the diffraction optical element 3a passes through the zoom lens 4 and then enters into the micro fly's eye 5. In this way, an annular illumination region is formed in the incident surface of the micro fly's eye 5. As a result, an annular secondary light source having the same shape with the illumination region formed in the incident surface is formed in the rear focal surface of the micro fly's eye 5. As such, the annular secondary light source is formed in the rear focal surface of the micro fly's eye 5 without any light loss based on the light from the light source 1.

[0065] The circular aperture stop is changed with the annular aperture stop, corresponding to the change from the diffraction optical element 3 to the diffraction optical element 3a. In this case, the annular aperture stop positioned in the illumination optical path is an aperture stop with an annular opening corresponding to the annular secondary light source. As such, by using the diffraction optical element 3a for annular illumination, the annular secondary light source can be formed without any light loss based on the light from the light source 1. As a result, the annular illumination can be performed while reducing light loss in the aperture stop restricting the light from a secondary light source.

[0066] Subsequently, the quadrupolar illumination, for example, obtained by providing the diffraction optical element 3b in the illumination optical path instead of the diffraction optical element 3, will be described below. Fig. 5 illustrates an operation of the diffraction optical element 3b for quadrupolar illumination. As shown in Fig. 5, the diffraction optical element 3b for quadrupolar illumination converts the circular light, which has a circular cross section and normally enters along the optical axis AX, into four narrow lights by equiangularly

diffracting it relative to the optical axis AX in four specific directions. Thus, when the parallel light of a circular cross section enters into the diffraction optical element 3b along the optical axis AX, the light becomes quadrupolar divergence light as shown in Fig. 5. As such, the diffraction optical element 3b constitutes the light converting optical system for converting the light from the light source 1 into the four divergence light that is offset relative to the optical axis AX.

[0067] The quadrupolar divergence light passing through the diffraction optical element 3b passes through the zoom lens 4 and then enters into the micro fly's eye 5. In this way, a quadrupolar illumination region is formed in the incident surface of the micro fly's eye 5. As a result, a quadrupolar secondary light source having the same shape with the illumination region formed in the incident surface is formed in the rear focal surface of the micro fly's eye 5. As such, the quadrupolar secondary light source is formed in the rear focal surface of the micro fly's eye 5 with almost no light loss based on the light from the light source 1.

[0068] The circular aperture stop is changed with the quadrupolar aperture stop corresponding to the change from the diffraction optical element 3 to the diffraction optical element 3b. In this case, the quadrupolar aperture stop positioned in the illumination optical path is an aperture stop with four openings corresponding to the quadrupolar secondary light source. As such, by using the diffraction optical element 3b for quadrupolar illumination, the quadrupolar secondary light source can be formed without any light loss based on the light from the light source 1. As a result, the quadruple illumination can be performed while reducing light loss in the aperture stop restricting the light from a secondary light source.

[0069] Hereinafter, an adjustment process of the illumination NA and the size of the illumination region will be described in detail. First, information on various masks to be exposed one by one according to a step-and-repeat method or a step-and-scan method, and information on the illumination condition of various masks or the exposure condition of a wafer to be exposed one by one, etc. are inputted into the control system 21 via the input means 20, such as a keyboard. The control system 21 stores information on various masks or wafers, such as a desired size of an illumination region (exposure region), an optimal illumination NA, an optimal line width (resolution), a desired depth of focus, etc., in an internal memory part, thereby supplying a suitable control signal to the first drive system 22 to the fourth drive system 25 in response to the input from the input means 20.

[0070] That is, in case of performing a typical circular illumination based on an illumination region of a desired size, an optimal illumination NA, an optimal resolution, and a desired depth of focus, the first drive system 22 positions the diffraction optical element 3 for circular illumination in the illumination optical path in accordance with the commands from the control system 21. Also, in order to obtain an illumination region having a desired size on the mask 10, the fourth drive system 25 sets up the focal length of the zoom lens 7 in accordance with the commands from the control system 21. Further, in order to obtain a desired illumination NA on the mask 10, the second drive system 23 sets up the focal length of the zoom lens 4 in accordance with the commands from the control system 21. Further,

in order to restrict the circular secondary light source formed in the rear focal surface of the micro fly's eye 5 to a state where light loss is preferably suppressed, the third drive system 24 positions a desired circular aperture stop in the illumination optical path in accordance with the commands from the control system 21.

[0071] Further, if necessary, the illumination NA and the size of the illumination region formed on the mask 10 may be suitably changed independently from each other by changing the focal length of the zoom lens 4 by the second drive system 23 or changing the focal length of the zoom lens 7 by the fourth drive system 25. In this case, according to the change in the size of the circular secondary light source depending upon change in the focal length of the zoom lens 4, a desired circular aperture stop is selected and positioned in the illumination optical path.

[0072] As described above, the input means 20, the control system 21, the second drive system 23 and the third drive system 24 constitute the adjusting system for adjusting each focal length of the first variable magnification optical system and the second variable magnification optical system in order to set the illumination NA and the size of an illumination region to a desired value. In this way, the optimized circular illumination can be accomplished by setting the illumination NA and the size of an illumination region on the mask 10 to a desired value, respectively, without any light loss.

[0073] Also, when the annular illumination is performed based on the illumination region with a desired size, optimized illumination NA, optimized resolution, and desired depth of focus, the first drive system 22 positions the diffractive optical element 3a for annular illumination in the illumination optical path in accordance with the commands from the control system 21. Further, in order to obtain the illumination region with a desired size on the mask 10, the fourth drive system 25 sets the focal length of the zoom lens 7 in accordance with the commands from the control system 21. Also, in order to obtain a desired illumination NA on the mask 10, the second drive system 23 sets the focal length of the zoom lens 4 in accordance with the commands from the control system 21. In general, in order to limit the annular secondary light source formed in the rear focal surface of the micro fly's eye lens 5 to the state of reducing preferably light loss, the third drive system 24 positions a desired annular aperture stop in the illumination optical path in accordance with the commands from the control system 21.

[0074] Also, if necessary, by changing the focal length of the zoom lens 4 by the second drive system 23 or changing the focal length of the zoom lens 7 by the fourth drive system 25, the illumination NA and the size of the illumination region formed on the mask 10 can be changed appropriately and independently from each other. In this case, according to the change of the size of the annular secondary light source (i.e., the size circle circumscribed with the annular secondary light source) depending on the change of the focal length of the zoom lens 4, a desired annular aperture stop is selected and positioned in the optical path for illumination. In this way, the optimized annular illumination can be accomplished by setting the illumination NA and the size of an illumination region on the mask 10 to a desired

level without any light loss.

[0075] Also, when the quadrupolar illumination is performed based on the illumination region with a desired size, optimized illumination NA, optimized resolution, and desired depth of focus, the first drive system 22 positions the diffractive optical element 3b for annular illumination in the illumination optical path in accordance with the commands from the control system 21. Further, in order to obtain the illumination region with a desired size on the mask 10, the fourth drive system 25 sets the focal length of the zoom lens 7 in accordance with the commands from the control system 21. Also, in order to obtain a desired illumination NA on the mask 10, the second drive system 23 sets the focal length of the zoom lens 4 in accordance with the commands from the control system 21. Also, in order to limit the quadrupolar secondary light source formed in the rear focal surface of the micro fly's eye lens 5 to the state of reducing adequately light loss, the third drive system 24 positions a desired quadrupolar opening aperture in the illumination optical path in accordance with the commands from the control system 21.

[0076] Also, if necessary, by changing the focal length of the zoom lens 4 by the second drive system 23 or changing the focal length of the zoom lens 7 by the fourth drive system 25, the illumination NA and the size of the illumination region formed on the mask 10 can be changed appropriately and independently from each other. In this case, according to the change of the size of the quadrupolar secondary light source (i.e., the size of circle circumscribed with the quadrupolar secondary light source) depending on the change of the focal length of the zoom lens 4, a desired quadrupolar aperture stop is selected and positioned in the illumination optical path. In this way, the optimized quadrupolar illumination can be accomplished by setting the illumination NA and the size of an illumination region on the mask 10 to a desired level without any light loss.

[0077] As described above, in the present embodiment, by controlling the focal length of the zoom lens 4 as a first variable magnification optical system and the focal length of the zoom lens 7 as a second variable magnification optical system, the illumination and the size of an illuminated region on the mask 10 and illumination NA, and the size of the light exposure region on the wafer 12 and σ value can be adjusted to a desired level, while light loss in the aperture stop 6 or the illumination field stop 8 is reduced adequately. That is, the exposure device of the present embodiment enables the projection exposure with higher throughput based on the high exposure illuminance and desired exposure condition by setting the size of the illumination region (exposure region) and σ value to an optimal value depending on the characteristic of the micro device or the characteristic of the mask 10.

[0078] Also, in the above-described embodiment, the modification illumination, such as annular illumination or quadrupolar illumination, and conventional circular illumination can be accomplished, while the light loss in the aperture stop for limiting the secondary light source is reduced adequately. Therefore, the resolution and the depth of focus of the projection optical system suitable for a micro pattern to be projection-exposed by illumination can be achieved by changing the type of modification illumination appropriately.

As a result, a preferable projection exposure with higher throughput can be accomplished based on the high exposure illuminance and preferable exposure condition.

[0079] Also, in order to change the exposure condition or illumination condition, if a distribution of light intensity in a pupil position of the illumination optical system (the position of the secondary light source formed by the light integrator or optically conjugate position) or an adjacent position thereof is changed by a modification means or light converting means (for example, a device for setting one of the diffraction optical member 3 for forming the circular light, the diffraction optical member 3a for forming the annular light, and the diffraction optical member 3b for forming the quadrupolar light) in the illumination optical path, the illumination numerical aperture NA may be changed. The change of the illumination numerical aperture according to the change in an exposure condition or illumination condition can be compensated by adjusting (changing) the magnification of the first variable magnification optical system 4 or the focal length.

[0080] In this case, the control system 21 outputs appropriate control signals into the first drive system 22, the second drive system 23, and the third drive system 24, respectively, based on the exposure condition or illumination condition of each mask or each wafer memorized in an interior memory part through the input means 20. That is, an appropriate diffraction optical element 3, 3a, 3b is set on the illumination optical path by the first drive system 22, an aperture stop with appropriate shape or appropriate size is set on the illumination optical path by the third drive system 24, and the first variable magnification optical system is adjusted (changed) to appropriate magnification or focal length for compensating the change of the illumination numerical aperture. Thereby, the exposure device and the method for producing a micro device, which can expose a preferable mask pattern to a photosensitive substrate, such as a wafer, based on the desired exposure condition or desired illumination, can be realized.

[0081] Fig. 6 is an approximate view of an exposure device with an illumination optical apparatus according to the second embodiment. The second embodiment has similar configuration with the first embodiment. However, the second embodiment is different with the first embodiment in that the first embodiment uses a light integrator as a multiple light source forming means, which has an invariable focal length and is comprised of one micro fly's eye lens, and the zoom lens 7 with a variable focal length as a condenser optical system, whereas the second embodiment uses the micro fly's eye lenses group 50 as a multiple light source forming means, which has a variable focal length and is comprised of three micro fly's eye lenses 51~53, and condenser lens 70 with an invariable focal length as a condenser optical system.

[0082] As shown in the Fig. 6, the element whose function is similar with the element of the first embodiment is referred to with the same numerical reference. Hereafter, the second embodiment will be described focusing on the difference with the first embodiment. Also, in the Fig. 6, the illumination optical apparatus is set for conventional circular illumination; however, it is also possible to implement an annular illumination or quadrupolar illumination

JP2001-135560

Our Ref.: PS-100100

Page 24

by changing a diffraction optical element, as same as the first embodiment. The detail explanation for such possibility will be omitted.

[0083] The second embodiment has a micro fly's eyes group 50 that comprises a first micro fly's eye 51 consisting of a micro lens with positive refractive power; a second micro fly's eye 52 consisting of a micro lens with negative refractive power; and a third micro fly's eye 53 consisting of a micro lens with positive refractive power, wherein the micro fly's eyes are arranged in order from the light source side. The micro lenses, which constitute the micro fly's eyes 51~53, have a cross section of rectangular shape and the sizes thereof are the same.

[0084] Also, the first micro fly's eye 51 and the second micro fly's eye 52 are movable independently along the optical axis AX, and the third micro fly's eye 53 is fixed along the optical axis AX. In order to prevent a rear focus surface of the micro fly's eyes group 50 from moving, the first micro fly's eye 51 and the second micro fly's eye 52 move independently along the optical axis AX, and thereby, the focal length of the micro fly's eyes group 50 is allowable to be changed continuously from the maximum focal length f501 to the minimum focal length f502. Also, the focal length of the micro fly's eyes group 50 is changed by the drive system that is driven in accordance with the commands from the control system, as same as the first embodiment.

[0085] Fig. 7 illustrates a relationship between the focal lengths of the zoom lens 4 and the micro fly's eyes group 50; and the illumination NA and the size of the rectangular illumination region formed in a predetermined surface conjugated with the mask 10. In Fig. 7(a), the light 30 emitted from an intersection between the optical axis AX and the diffraction surface of the diffractive optical element 3 as the maximum emitting angle θ_1 becomes to be parallel with the optical axis AX through the zoom lens 4 set to the maximum focal length f11, and then enters into the micro fly's eyes group 50. The micro fly's eyes group 50 is set to the maximum focal length f501. In Fig. 7, the size of each micro lens of the micro fly's eyes 51~53, which constitute the micro fly's eyes group 50, is d.

[0086] The outmost light 31 emitted from the micro fly's eyes group 50 parallel with the optical axis AX passes through the condenser lens 70 with a focal length f70, and then arrives at the intersection between the optical axis AX and the predetermined surface 32 conjugated with the mask 10 as an incidence angle θ_{21} . Thereby, an illumination region 33 of rectangular shape, which is similar with the shape of micro lens, is formed in the predetermined surface 32. Further, the size of the illumination region 33 in Fig. 7 is ϕ_3 .

[0087] As shown in Fig. 7(b), the focal length of the zoom lens 4 is changed from the maximum focal length f11 to the minimum focal length f12, while the focal length of the micro fly's eyes group 50 is changed from the maximum focal length f501 to the minimum focal length f502. In this case, the light 30 emitted as an emitting angle θ_1 from the intersection between the optical axis AX and the diffraction surface of the diffraction optical element 3 becomes to be parallel with the optical axis AX through the zoom lens 4 set to the minimum focal length f12, and then enters into the micro fly's eyes group 50 set to the

JP2001-135560

Our Ref.: PS-100100

Page 25

minimum focal length f_{502} .

[0088] The outmost light 30 emitted parallel with the optical axis AX from the micro fly's eyes group 50 passes through the condenser lens 70 with a focal length f_{70} , and then arrives at the intersection between the optical axis AX and the predetermined surface 32 conjugated with the mask 10 as an incidence angle θ_{22} . Thereby, an illumination region 33 of rectangular shape, which is similar with the shape of micro lens, is formed in the predetermined surface 32. Further, the size of the illumination region 33 in Fig. 7 is ϕ_4 .

[0089] In Fig. 7(a), the following formulas (5) and (6) are satisfied:

$$f_{l1} \cdot \sin \theta_{11} = f_{70} \cdot \sin \theta_{21} \quad (5)$$

$$\phi_3 = (f_{70} / f_{501}) d \quad (6)$$

Also, in Fig. 7(b), the following formulas (7) and (8) are satisfied:

$$f_{l2} \cdot \sin \theta_{11} = f_{70} \cdot \sin \theta_{22} \quad (7)$$

$$\phi_4 = (f_{70} / f_{502}) d \quad (8)$$

[0090] Referring to the formulas (6) and (8) as above, it should be noted that the size ϕ of the illumination region 33 is inversely proportional to the micro fly's eyes group 50. That is, it may readily be shown that the size ϕ_3 of the illumination region 33 in Fig. 7(a) is the minimum size, and the size ϕ_4 of the illumination region 33 in Fig. 7(b) is the maximum size. Further, referring to the formulas (5) and (7) as above, since the values of θ_{11} and f_{70} are invariable, it should be noted that a sine value ($\sin \theta_2$) of the incidence angle θ_2 into the predetermined surface 32 depends on the focal length f_l of the zoom lens 4. That is, it may readily be shown that the illumination NA of the illumination region 33 in Fig. 7(a) is maximum and is proportional to f_{l1} , and the illumination NA of the illumination region 33 in Fig. 7(b) is minimum and is proportional to f_{l2} .

[0091] As described above, if the focal length f_{50} of the micro fly's eyes group 50 is changed, the illumination region formed in the predetermined surface 32 and the size of the illumination region formed in the pattern surface of the mask 10 are changed. More specifically, if the focal length f_{50} of the micro fly's eyes group 50 is enlarged, only the size of the illumination region on the mask 10 is to be smaller without the change of the illumination NA on the mask 10. As such, the micro fly's eyes group 50 constitutes the multiple light source forming means; and a part of the second variable magnification optical system for changing the size of the illumination region formed on the mask 10 (further, on the wafer 12), which is an illumination target surface.

[0092] In the meantime, if the focal length f_l of the zoom lens 4 is changed, the size of the illumination region formed in the incident surface of the micro fly's eyes group 50 is changed,

and thereby, the illumination NA on the mask 10 is changed. More specifically, if the focal length f_1 of the zoom lens 4 is smaller, only the illumination NA on the mask 10 becomes to be smaller without changing the size of the illumination region on the mask 10. As such, the zoom lens 4 constitutes a part of the first variable magnification optical system for changing the illumination NA only.

[0093] Thus, in the second embodiment, by setting the focal length of the micro fly's eyes group 50 to a predetermined value, the illumination region with a desired size on the mask 10 can be achieved without substantial light loss in the mask blind 8.

[0094] Fig. 8 schematically shows a configuration of an exposure device with an illumination optical apparatus according to the third embodiment. The third embodiment has similar configurations with the first embodiment. However, the third embodiment is basically different with the first embodiment in that the embodiment 1 uses a micro fly's eye lens, i.e., a wavefront-splitting type optical integrator, as a multiple light source forming means, whereas the third embodiment uses the rod type integrator 500, i.e., an inner surface reflection type optical integrator.

[0095] Therefore, as shown in the Fig. 8, the element whose function is similar with the element of the first embodiment is referred to with the same numerical reference. Hereafter, the third embodiment will be described focusing on the difference with the first embodiment. Further, in the Fig. 8, the illumination optical apparatus is set for conventional circular illumination; however, it is also possible to implement an annular illumination or quadrupolar illumination by changing a diffraction optical element, as same as the first embodiment. The detail explanation for such possibility will be omitted.

[0096] In the third embodiment, the zoom lens 41 as a first imaging optic system (a first variable magnification optic system), which corresponds to using the rod type integrator 500 instead of the micro fly's eye 5, is installed in the optical path between the diffractive optic element 3 and the rod type integrator 500, and a zoom lens 71 as a second imaging optic system (a second variable magnification optic system) is installed instead of the zoom lens 7 and the relay optic system 9. Also, the mask blind 8 as the illumination field stop is located in adjacent to the emitting surface of the rod type integrator 500.

[0097] In the present invention, the zoom lens 41 is configured to continuously change its imaging magnification m_1 , while maintaining a diffraction surface of the diffraction optical element 3 and an incident surface of the rod type integrator 500 as an optically conjugated state. Further, the zoom lens 71 is configured to continuously change its imaging magnification m_2 while maintaining an emitting surface of the rod type integrator 500 and a pattern surface of the mask 10 as an optically conjugated state. In addition, the change of the magnification of the zoom lens 41 and the zoom lens 71 is performed in accordance with the commands from the control system as the first embodiment.

[0098] The rod type integrator 500 is a glass rod of an internal reflection type which is made

of glass materials such as quartz glass or fluorite, and forms an image of light source according to the number of internal reflection along a surface parallel to the rod incident surface through a condensing point by using total reflection in a boundary surface between the inner and outer portions, i.e., internal total reflection. Most of the images of the light source formed are virtual images, but only the image of the light source in the center (condensing point) is a real image. That is, the light, which enters into the rod type integrator 500, is divided to angle direction by internal reflection, which forms a secondary light source comprising a number of light source images along a surface parallel to the incident surface through the condensing point.

[0099] The light from the secondary light source formed in the incident side by the rod type integrator 500 is superposed in the emitting surface, and then uniformly illuminates on the mask 10, where a predetermined pattern is formed thereon through the zoom lens 71. As described above, the zoom lens 71 optically connects the emitting surface of the rod type integrator 500 and the mask 10 (further, the wafer 12) in the state of almost optically conjugated. Thus, an illumination region of rectangular shape, which is similar with the shape of a cross section of the rod type integrator 500, is formed on the mask 10.

[00100] Fig. 9 illustrates the relation among the magnification of the zoom lens 41 and the zoom lens 71; and the size of the rectangular shaped illumination region formed in a predetermined surface conjugated with the mask 10 and the illumination NA. In Fig. 9 (a), the light beam 30 emitted from the intersection between the diffractive surface of the diffractive optical element 3 and the optical axis AX at an maximum angle θ_1 passes through the zoom lens 41 being set with the maximum magnification m_{11} , and then enters into the intersection between the optical axis AX and the incident surface of the rod type integrator 500 with an incident angle θ_{11} . In this configuration, the size of the emitting surface of the rod type integrator 500 in Fig. 9 is d_5 .

[00101] The light beam 31 emitted from the intersection between the optical axis AX and the emitting surface of the rod type integrator 500 passes through the zoom lens 71 being set with the maximum magnification m_{21} , and then reaches the intersection between the predetermined surface 32 conjugated with the mask 10 and the optical axis AX at the incident angle θ_{21} . By this way, the rectangular shaped illumination region 33, which has a similar shape with the emitting surface of the rod type integrator 500 (in particular, a similar shape with that of the aperture of the mask blind 8), is formed on the predetermined surface 32. Further, the size of the illumination region 33 in Fig. 9 is ϕ_5 .

[00102] As shown in the Fig. 9 (b), the magnification of the zoom lens 41 changes from the maximum magnification m_{11} to the minimum magnification m_{12} , and simultaneously, the magnification of the zoom lens 71 changes from the maximum magnification m_{21} to the minimum magnification m_{22} . In this case, the light beam 30 emitted from the intersection between the diffractive surface of the diffractive optical element 3 and the optical axis AX at the maximum emitting angle θ_1 passes through the zoom lens 41 being set with the minimum magnification m_{12} , and then enters into the intersection between the optical axis AX and the

JP2001-135560
Our Ref.: PS-100100
Page 28

incident surface of the rod type integrator 500 at an angle θ_{12} .

[00103] The light beam 31 emitted from the intersection between the optical axis AX and the emitting surface of the integrator 500 with an angle θ_{12} passes through the zoom lens 71 being set with the minimum magnification m_{22} , and then reaches the intersection between the predetermined surface 32 conjugated with the mask 10 and the optical axis AX with the incident angle θ_{22} . By this way, the rectangular shaped illumination region 33, which is similar to the shape of the emitting surface of the rod type integrator 500, is formed on the predetermined surface 32. The size of the illumination region 33 in Fig. 9 is ϕ_6 .

[00104] With respect to Fig. 9 (a), the following equations 9 and 10 are given:

$$\theta_{11} = m_{11} \cdot \theta_1 = m_{21} \cdot \theta_2 \quad (9)$$

$$\phi_5 = m_{21} \cdot d_5 \quad (10)$$

Further, with respect to Fig. 9 (b), the following equations 11 and 12 are given:

$$\theta_{12} = m_{12} \cdot \theta_1 = m_{22} \cdot \theta_2 \quad (11)$$

$$\phi_6 = m_{22} \cdot d_5 \quad (12)$$

[00105] With reference to the equations 10 and 12 as above, it can be understood that the size ϕ of the illumination region 33 is proportional to the magnification m_2 of the zoom lens 71. Accordingly, it can be understood that the size ϕ_5 of the illumination region 33 is maximum in Fig. 9 (a) and the size ϕ_6 of the illumination region 33 is minimum in Fig. 9 (b).

[00106] Also, with reference to the equations 9 and 11 as above, it can be understood that the incident angle θ_2 into the predetermined surface 32 depends on the ratio of the magnification m_1 of the zoom lens 4 to the magnification m_2 of the zoom lens 71, i.e., m_1/m_2 , since the value of θ_1 is invariable. In other words, the illumination NA of the illumination region 33 depends on m_{11}/m_{21} in Fig. 9 (a), and the illumination NA of the illumination region 33 depends on m_{21}/m_{22} in Fig. 9 (b).

[00107] As described above, if the magnification m_2 of the zoom lens 71 is changed, the size of the illumination region formed in the pattern surface of the mask 10 and the illumination NA is changed. More specifically, if the magnification m_2 of the zoom lens 71 becomes higher, the illumination region on the mask 10 becomes larger, and thereby, the illumination NA becomes lower. As such, the zoom lens 71 defines the second variable magnification optical system for changing the size of the illumination region formed on the mask which is the illumination target surface.

[00108] Meanwhile, if the magnification m_1 of the zoom lens 41 is changed, the size of the illumination region formed on the incident surface of the micro fly's eye 5 is changed, and thereby, the illumination NA on the mask 10 is changed. More specifically, if the magnification m_1 of the zoom lens 41 becomes higher, only the illumination NA on the mask 10 becomes higher without any change in the size of the illumination region formed on the pattern surface of the mask 10. As such, the zoom lens 41 defines the first variable magnification optical system for changing only the illumination NA on the mask 10, which is the illumination target surface.

[00109] In this embodiment, therefore, by setting the magnification of the zoom lens 71 to a predetermined value, without substantial light loss in the mask blind 8, the desired size of the illumination region on the mask 10 may be obtained. Further, by setting the magnification of the zoom lens 41 to a predetermined value with regard to the magnification of the zoom lens 7 set to a predetermined value, the desired illumination NA may be obtained.

[00110] Also, in the third embodiment as shown in Fig. 8, as described in the first embodiment as shown in Fig. 1, if the distribution of light intensity in the pupil position of the illumination optical system (the position of the secondary light source formed by the optical integrator or the position optically conjugated with it) or the adjacent position thereof is changed by a modification means or means for changing light (for example, device for setting one of the diffraction optical member (3) for forming circular light, the diffraction optical member (3a) for forming annular light, and the diffraction optical member (3b) for forming quadrupole light in the optical path of illumination) in order to change exposure condition or illumination condition, the illumination numerical aperture NA may be changed. The change of the illumination numerical aperture according to the change of the exposure condition or the illumination condition may be amended by adjusting (changing) the magnification or the focal length of the first variable magnification optical system 41 as an adjusting means or the focal length.

[00111] As described above, in the embodiments shown in Fig. 1 and Fig. 8, the illumination numerical aperture may remain approximately constant by amending the change of the illumination numerical aperture according to the change of the illumination field by the second variable magnification optical system 7 and 71. Such amendment may be made by adjusting (changing) the magnification of the first variable magnification optical system 4 and 41 and the focal length. Therefore, the projection exposure may also be achieved with a high efficiency of illumination under such specific condition.

[00112] However, the distribution of the light intensity on the mask or the wafer is changed by the modification means or the means for changing light (for example, a device for setting one of the diffraction optical member (3) for forming circular light, the diffraction optical member (3a) for forming annular light, and the diffraction optical member (3b) for forming quadrupole light in the optical path of illumination), and thus, the light intensity may not be uniform. In this case, the distribution of the light intensity on the mask or the wafer may become uniform by moving some optical elements (e.g., lens etc.) of the relay optical system

(imaging optical system 9) or the second condenser optical system (variable magnification optical system 7 and 70), or by placing plural replaceable filters having desired angle characteristic for adjusting the distribution of the light intensity in the optical path between the optical integrator 5, 50 and 500 and the mask 10. However, since the illumination numerical aperture may be changed according to said amendment of the light intensity, the change of the illumination numerical aperture according to the amendment of the light intensity by the light intensity amendment means may be amended by adjusting (changing) the magnification or the focal length of the first variable magnification optical system (the first condenser optical system 4, the first imaging optical system 41).

[00113] The light modification means (changing means) described in each embodiment above includes the function of modifying selectively to the light with the plural light intensity having different distributions of light intensity from each other based on the light for exposure. In other words, the function of modifying the light for exposure to either the light having the first distribution of light intensity or the light having the second distribution of light intensity that differs from the first one. Thus, the distribution of light intensity may be changed to desired distribution of light intensity in the pupil position of illumination optical system (the position of the secondary light source formed by the optical integrator or the optically conjugated position with it) or the adjacent position thereof. As such, the light modification means (changing means) could change the distribution of light intensity in the pupil position of illumination optical system or the adjacent position thereof may be configured to switch the diffraction optical elements 3, 3a and 3b forming desired emitting light, as well as to replace convex conical refractive surface prism forming annular light (or prism having concave conical refractive surface) and convex pyramid shaped refractive surface prism forming quadrupole light.

[00114] As such, the light modification means (changing means) may modify light into the desired state of emitting light by setting one of the optical members having a selective diffraction or refraction in the optical path of illumination. Also, if the light modification means (changing means) is a configuration combined with replaceable three diffraction optical elements and variable magnification optical systems, a annular ratio of the annular light (ratio of inner diameter to outer diameter in annular light), a size of circular light and a distance from the center of the quadrupole light can vary continuously in the position of the pupil of the illumination optical system or the adjacent position thereof. Likewise, the light modification means (changing means) may be configured to combine said replaceable prism (refraction optical element) with the variable magnification optical system.

[00115] Further, since each optical member and each stage in each example shown in Fig 1 to 9 is connected electrically, mechanically or optically in order to attain said function, the exposure device in accordance with the present invention may be achieved. Now, with reference to the flow chart as shown in Fig. 10, an example of a way of producing semiconductor device as micro device by forming predetermined circuit pattern on the wafer as a photosensitive substrate while using the exposure device in each example shown in Figs. 1 to 9 will be described.

[00116] Firstly, metal layer is deposited on one lot of wafers in the step 301 as shown in Fig. 10. In the next step 302, a photo resistance is applied on the lot of wafers. Then, in the step 303, the pattern on the mask (reticle) is exposed and sequentially transferred to each shot region of the lot of wafers through one of the projection optical systems (projection optical units) shown in Figs. 1 to Fig. 9. Then, development of the photo resistance on the lot of wafers is processed in the step 304, and then a circuit pattern corresponding to the pattern on the mask is formed on the shot region of each wafer, i.e., an etching resist pattern. Next, by forming a circuit pattern on a layer thereon, device such as semi-conductor element is manufactured. According to the method for producing the semi-conductor device described above, the semi-conductor device having micro circuit pattern may be obtained with high throughput.

[00117] Further, in the exposure device shown in Figs. 1 to 9, liquid crystal display as a micro device may be attained by forming predetermined patterns (circuit pattern, electrode pattern, etc.) on a plate (glass substrate). Now, an example of this process will be described with reference to a flow chart in Fig. 11. In Fig. 11, the pattern forming process (step 401), so-called a photo lithography process, is carried out in which patterns of the reticle are exposed and transferred to the photosensitive substrate (e.g., glass substrate covered with resist and etc.) using the exposure device of this embodiment. Predetermined patterns with many electrode and others are formed on the photosensitive substrate by said photo lithography process. Then, the development, etching, reticle, and stripping are carried out on the exposed substrate, so that the predetermined patterns are formed on the substrate and it moves to a color filter forming process (step 402).

[00118] During the color filter forming process (step 402), the color filter is formed, wherein many sets of three dots corresponding to R(Red), G(green), and B(blue) are arranged in matrix. After the color filter forming process (step 402), a cell assembly process (step 403) is carried out after the color filter forming process (step 402). In the cell assembly process (step 403), the liquid crystal display panel is assembled by assembling the substrate having predetermined pattern formed in the pattern forming process (step 401), the color filters formed in the color filter forming process (step 402) and so on. In the cell assembly process (step 403), liquid crystal is injected between the substrate having predetermined pattern formed in the pattern forming process (step 401) and the color filters formed in the color filter forming process (step 402), so that liquid crystal panel (liquid crystal cell) is manufactured.

[00119] Next, in a module assembly process (step 404), each component, such as the electrical circuits, back light, and other is assembled into liquid crystal element, wherein said components are for enabling display operation of the liquid crystal panel (liquid cell) and suitable for assembly. According to the assembly method described above, the liquid crystal display element having extremely fine circuit patterns may be attained with high throughput.

[00120] Further, in the embodiments described above, the diffraction optical element as the light modifying optical system may be configured to be positioned in the optical path of

illumination by a manner such as turret. Also, said diffraction optical element may be inserted, removed, and switched by, for example, the known slider devices. The diffraction optical elements, which may be used in the present invention, are described in US patent 5,850,300 specifically. Further, the wavefront-splitting type optical integrator, for example, a fly's eye lens or micro fly's eye, may also be used, while the diffraction optical element as the light modifying optical system is used in the embodiments described above.

[00121] Further, other suitable optical components such as a fly's eye lens or diffraction optical element may also be used, while a micro fly's eye or rod type integrator is used as multi light source forming means in the embodiment described above. Further, in the first and second embodiments, the illumination region is defined on the predetermined surface conjugated with the mask 10, and the light from this illumination region is limited to the mask blind 8 and passes through the relay optical system 9, so that the illumination region is defined on the mask 10. However, it is also possible that the light passes through the zoom lens 7 or 70 without the relay optical system 9 so that the illumination region is directly formed on the mask 10 positioned on the mask blind 8.

[00122] Further, an annular light enters into the rod type integrator having a rectangular shaped cross section in the third embodiment, but it is preferred that the light is modified to have an elliptical shaped light before such entering. Also, the rod type integrator may be a single glass rod with cavity and may be reflective mirrors assembled in a tunnel shape. In case of forming the rod type integrator with reflective mirror, the size d5 of the cross section thereof may be configured to be variable as desired.

[00123] Further, in the embodiments described above, the aperture stop is disposed adjacent to rear focal surface of the micro fly's eye to limit light from the secondary light source. In some cases, however, by making a cross section of each small-sized lens forming the micro fly's eye small sufficiently, light may not be limited while using no aperture stop.

[00124] Further, in the embodiment described above, the example of forming a quadrupole secondary light source is described, but multi-pole shaped secondary light source, for example, dipole or octupole secondary light source, may also be formed. Further, in the embodiment described above, the present invention is described as an example of a projection exposure device with the illumination optical device. However, it is clear that the present invention may also be applied to typical illumination optical system to illuminate the illumination target surfaces other than to mask uniformly.

[00125] Further, in the embodiments, since the light having a wavelength longer than 180nm, such as KrF excimer laser (wavelength: 248nm) or ArF excimer laser (wavelength: 193nm), is used for exposure, the diffraction optical element may be formed with, for example, quartz glass. Further, in case of using the light having a wavelength shorter than 200nm for exposure, it is preferred to form a diffraction optical element with material selected from the group of fluorite, doped quartz glass with fluorine, doped quartz glass with fluorine and hydrogen, quartz glass with structure crystalline at temperature below 1200K and OH

concentration above 1000ppm, quartz glass with structure crystalline at temperature below 1200K and hydrogen molecule concentration above 1×10^{17} molecule/cm³, quartz glass with structure crystalline at temperature below 1200K and chlorine concentration below 50ppm, and quartz glass with structure crystalline at temperature below 1200K, hydrogen molecule concentration above 1×10^{17} molecule/cm³ and chlorine concentration below 50ppm.

[00126] Quartz glass with structure crystalline at temperature below 1200K and OH concentration above 1000ppm is disclosed in Japanese Patent No. 2770224 of the present applicant. Quartz glass with structure crystalline at temperature below 1200K and hydrogen molecule concentration above 1×10^{17} molecule/cm³; quartz glass with structure crystalline at temperature below 1200K and chlorine concentration below 50ppm; and quartz glass with structure crystalline at temperature below 1200K and hydrogen molecule concentration above 1×10^{17} molecule/cm³ and chlorine concentration below 50ppm are disclosed in Japanese Patent No. 2936138 of the present applicant.

Effects of the Invention

[00127] As described above, in the illumination optical apparatus of the present invention, the illumination NA and the size of the illumination region may be adjusted to a desired value, while avoiding light loss by controlling the focal length or the magnification of the first variable magnification optical system and second variable magnification optical system. Thus, in the exposure apparatus with the illumination optical apparatus of the present invention, the size of the exposure region and the σ value may be adjusted to a desired value, respectively, while reducing light loss in the aperture stop or the illumination field stop. As a result, the exposure apparatus of the present invention is configured to set the size of the illumination region (exposure region) and the σ value to the optimized value according to the property of the micro device to be manufactured, and thereby preferably providing exposure with high throughput based on high illuminance for exposure and desirable exposure conditions.

[00128] Further, the exposure method, which exposes the mask pattern displaced on the illumination target surface onto the photosensitive substrate, and the manufacture method for micro devices may perform the projection exposure based on a preferable exposure condition, and thereby, the desired micro devices can be manufactured. Further, according to the typical embodiment of the present invention, the modified illumination, such as the annular illumination or quadrupolar illumination, and the conventional circular illumination may be formed, while reducing light loss in the aperture stop for limiting the secondary light source. Thus, in the exposure apparatus with the illumination optical apparatus of the present invention, the resolution and the depth of focus suitable for micro pattern to be exposed may be obtained by adjusting the type of the modification illumination. As a result, preferable exposure with high throughput may be performed based on the high exposure illuminance and desired exposure conditions.

[00129] The adjusting means allows for the illumination numerical aperture to be adjusted, even when the illumination numerical aperture has been changed by converting the light for exposure into the light having desired light intensity distribution by light converting means (changing means). Therefore, the exposure apparatus and the manufacturing method for micro devices for preferably exposing the mask pattern on the photosensitive substrate such as wafers at all times in accordance with a desired exposure condition or desired illumination condition may be realized.

Brief Description of the Drawings

Fig. 1 schematically shows a configuration of a device comprising an illumination optical apparatus according to a first embodiment of the present invention.

Fig. 2 is a perspective view illustrating an internal configuration and operation of a light delay part 2 in FIG. 1.

Fig. 3 shows a relationship between focal lengths of a zoom lens 4 and a zoom lens 7; and an illumination NA and a size of a rectangular illumination region formed in a predetermined surface that conjugates with a mask 10 in the first embodiment.

Fig. 4 shows an operation of a diffraction optical element 3a for annular illumination.

Fig. 5 shows an operation of a diffraction optical element 3b for quadrupolar illumination.

Fig. 6 schematically shows a configuration of an exposure apparatus with an illumination optical apparatus according to a second embodiment of the present invention.

Fig. 7 shows a relationship between focal lengths of a zoom lens 4 and a micro fly's eyes group 50; and an illumination NA and a size of a rectangular illumination region formed in a predetermined surface that conjugates with a mask 10 in the second embodiment.

Fig. 8 schematically shows a configuration of an exposure apparatus with an illumination optical apparatus according to a third embodiment of the present invention.

Fig. 9 shows a relationship between magnifications of a zoom lens 41 and a zoom lens 71; and an illumination NA and a size of a rectangular illumination region formed in a predetermined surface that conjugates with a mask 10 in the third embodiment.

Fig. 10 is a flow chart of an example method for obtaining a semiconductor device as a micro device.

Fig. 11 is a flow chart of an example method for obtaining a liquid crystal display element as a micro device.

<Descriptions of Reference Numerals for Primary Parts of the Drawings>

- 1: Light Source
- 2: Light Delay Part
- 3: Diffraction Optical Element
- 4: Zoom Lens
- 5: Micro Fly's Eye
- 6: Aperture Stop
- 7: Zoom Lens

JP2001-135560
Our Ref.: PS-100100
Page 35

8: Mask Blind
9: Relay Optical System
10: Mask
11: Projection Optical System
12: Wafer
13: Wafer Stage
20: Input Means
21: Control System
22 ~ 25: Drive System

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 20 頁)

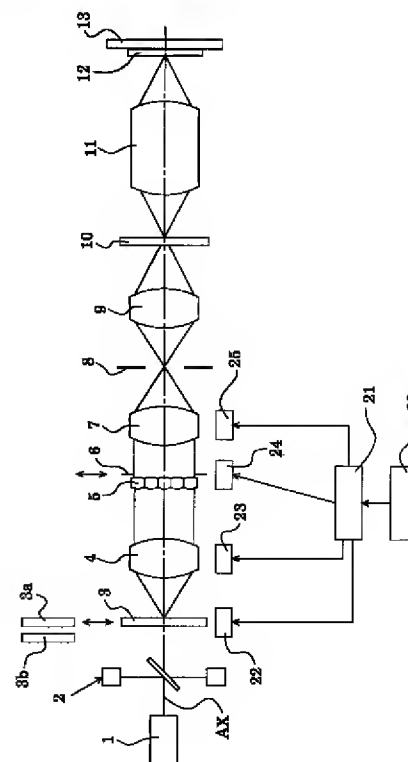
(21)出願番号 特願平11-313205
(22)出願日 平成11年11月4日(1999.11.4)

(71)出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(72)発明者 谷津 修
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内
(72)発明者 渋谷 真人
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内
(74)代理人 100095256
弁理士 山口 孝雄
Fターム(参考) 5F046 CA04 CB05 CB13

(54)【発明の名称】 照明光学装置、該照明光学装置を備えた露光装置、および該露光装置を用いたマイクロデバイス
(57)【要約】 製造方法

【課題】 光量損失を良好に抑えつつ、被照射面に形成される照明領域の大きさと照明NAとをそれぞれ所望の値に調整することのできる照明光学装置。

【解決手段】 被照射面を照明する照明光学装置である。被照射面における照明開口数を調整するために焦点距離または倍率が可変の第1変倍光学系(4)と、被照射面に形成される照明領域の大きさを変化させるために焦点距離または倍率が可変の第2変倍光学系(7)とを備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被照射面を照明する照明光学装置において、

前記被照射面における照明開口数を調整するために焦点距離または倍率が可変の第 1 変倍光学系と、
前記被照射面に形成される照明領域の大きさを変化させるために焦点距離または倍率が可変の第 2 変倍光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 2】 前記照明開口数と前記照明領域の大きさとをそれぞれ所望の値に設定するために前記第 1 変倍光学系および前記第 2 変倍光学系の各焦点距離または各倍率を調整するための調整系を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学装置。

【請求項 3】 照明光を供給するための光源手段と、
前記照明光に基づいて多数の光束を形成するための多光源形成手段と、
前記光源手段からの光束を所定の断面形状を有する光束に変換するための光束変換光学系とを備え、
前記第 1 変倍光学系は、前記光束変換光学系を介した光束を前記多光源形成手段へ導き、
前記第 2 変倍光学系は、前記多光源形成手段からの多数の光束を前記被照射面へ導くことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学装置。

【請求項 4】 照明光を供給するための光源手段と、
前記光源手段からの光束を所定の断面形状を有する光束に変換するための光束変換光学系とを備え、
前記第 1 変倍光学系は、前記光束変換光学系からの光束を前記第 2 変倍光学系へ導き、
前記第 2 変倍光学系は、前記第 1 変倍光学系を介した光束に基づいて多数の光束を形成するための多光源形成手段を含み、
前記第 2 変倍光学系は、前記第 1 変倍光学系からの光束を前記被照射面へ導くことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学装置。

【請求項 5】 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板上へ投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項 6】 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置により前記被照射面に配置されたマスクを照明する工程と、照明された前記マスクのパターンを感光性基板上に転写する工程とを含むことを特徴とする、マイクロデバイスの製造方法。

【請求項 7】 所定のパターンを有するマスクのパターンを露光用の光束で照明する照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に投影露光する投影系とを有する露光装置において、
前記感光性基板での露光条件又は前記マスクでの照明条件に関する情報を入力する入力手段を備え、
前記照明光学装置は、前記入力手段からの入力情報に基づいて

前記露光用の光束を所望の光強度分布を有する光束に変換する光束変換手段と、前記入力手段からの入力情報に基づいて前記マスクでの照明開口数を調整する第 1 変倍光学系と、前記入力手段からの入力情報に基づいて前記マスクに形成される照明領域の大きさを変化させる第 2 変倍光学系とを含むことを特徴とする露光装置。

【請求項 8】 前記照明光学装置は、前記マスクを均一に照明するオプティカルインテグレータを含み、
前記第 1 変倍光学系は、前記オプティカルインテグレータの入射側に配置されており、
前記第 2 変倍光学系は、前記オプティカルインテグレータの射出側に配置されていることを特徴とする請求項 7 に記載の露光装置。

【請求項 9】 所定のパターンを有するマスクのパターンを露光用の光束で照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に投影露光する露光工程とを含むマイクロデバイスの製造方法において、
前記照明工程は、前記感光性基板での露光条件又は前記マスクでの照明条件に関する情報を入力する入力工程と、
前記入力工程からの入力情報に基づいて露光用の光束を所望の光強度分布を有する光束に変換する光束変換工程と、
前記入力工程からの入力情報に基づいて前記マスクに形成される照明領域の大きさを変化させる照明領域可変工程と、
前記入力手段からの入力情報に基づいて前記マスクでの照明開口数を調整する調整工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【請求項 10】 前記調整工程は、前記照明領域可変工程により変化する照明開口数の値を補正して前記照明開口数の値をほぼ一定に保つことを含むことを特徴とする請求項 9 に記載のマイクロデバイスの製造方法。

【請求項 11】 所定のパターンを有するマスクのパターンを露光用の光束で照明する照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に投影露光する投影系とを有する露光装置において、
前記照明光学装置は、該照明光学装置の瞳位置又はその近傍での光強度分布を変化させる変更手段と、該変更手段による光強度分布の変化に応じて前記マスクでの照明開口数を調整する調整手段とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 12】 前記変更手段は、前記露光用の光束を、互いに異なる光強度分布を有する複数の光束の内の 1 つの光束に選択的に変換する光束変換手段を含むことを特徴とする請求項 11 に記載の露光装置。

【請求項 13】 前記光束変換手段は、第 1 光強度分布を形成する第 1 回折光学部材と、光路に対して第 1 回折光学部材と交換可能に設けられて前記第 1 光強度分布とは異なる第 2 光強度分布を形成する第 2 回折光学部材と

を有することを特徴とする請求項12に記載の露光装置。

【請求項14】 照明光学装置を用いて所定のパターンを有するマスクのパターンを照明する照明工程と、投影系を用いて前記マスクのパターン像を感光性基板上に投影露光する露光工程とを含むマイクロデバイスの製造方法において、前記照明工程は、前記照明光学装置の瞳位置又はその近傍での光強度分布を変化させる変更工程と、該変更工程による光強度分布の変化に応じて前記マスクでの照明開口数を調整する調整工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関する。

【0002】

【従来の技術】この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、たとえばマイクロフライアイのようなオブティカルインテグレートに入射し、その後側焦点面に多数の光源像からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、その近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。開口絞りは、所望の照明条件（露光条件）に応じて、二次光源の形状または大きさを所望の形状または大きさに制限する。コンデンサーレンズにより集光された光束は、マスクと共役な所定面に矩形状の照野を形成する。この所定面の近傍には、照明視野絞りとしてのマスクブラインドが配置されている。

【0003】したがって、所定面に形成された矩形状の照野からの光束は、照明視野絞りを介して制限された後、リレーレンズを介して所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。こうして、マスク上には、照明視野絞りの開口部の像が、矩形状の照明領域として形成される。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウエハ上に結像する。こうして、ウエハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウエハ上に正確に転写するにはウエハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】近年においては、オブティカルインテグレート射出側に配置された開口絞りの開口部（光透過部）の大きさを変化させることにより、オブティカルインテグレートを通して形成される二次光源の大きさを変化させて、照明のコヒーレンシ σ （ σ 値＝開口絞り径／投影光学系の瞳径、あるいは σ 値＝照明光学系の射出

側開口数／投影光学系の入射側開口数）を変化させる技術が注目されている。また、オブティカルインテグレート射出側に配置された開口絞りの開口部の形状を輪帯状や四つ穴状（すなわち4極状）に設定することにより、オブティカルインテグレートにより形成される二次光源の形状を輪帯状や4極状に制限して、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、露光装置では、製造すべきマイクロデバイスの特性に応じて、ウエハのような感光性基板上に形成される照明領域すなわち露光領域の大きさを変更したい場合がある。換言すると、使用するマスクの特性に応じて、マスク上に形成される照明領域の大きさを変更したい場合がある。たとえば、標準的に設定されている照明領域よりも小さい照明領域を形成したい場合、上述の照明視野絞りの開口部の大きさを小さくする方法が考えられる。しかしながら、この方法では、照明視野絞りにおいて光損失が発生し、結果として露光装置のスループットが低下してしまう。

【0006】一方、照明視野絞りにおける光損失を実質的に回避するために、たとえばリレーレンズの倍率を変化させてマスク上に形成される照明領域を、ひいては感光性基板上に形成される露光領域を小さくする方法も考えられる。しかしながら、この方法では、マスク上に形成される照明領域の大きさの変化に伴って、照明開口数（以下、「照明NA」という）が変化し、ひいては最適に設計されていた σ 値も変化してしまう。

【0007】このように、露光装置では、製造すべきマイクロデバイスの特性に応じて、露光領域の大きさと同様に σ 値も所望の値に設定したいという要求がある。換言すると、露光装置に用いられる照明光学装置において、使用するマスクの特性に応じて、照明領域の大きさと同様に照明NAもそれぞれ所望の値に設定したいという要求がある。なお、本発明で言うマイクロデバイスとは、半導体集積回路等を有する半導体素子、高精細フラットパネルディスプレイ、CCD等の撮像素子、パソコンハードディスク用の磁気ヘッド、回折光学素子等を含む。

【0008】また、露光条件又は照明条件を変更するために、オブティカルインテグレートにより形成される二次光源の光強度分布（露光用照明装置の瞳位置又はその近傍に形成される光強度分布）を所望の形状（例えば円形状、輪帯状又は4極状のうちのいずれかの形状）又は所望の大きさ（例えば円形状、輪帯状又は4極状の大きさ）に変更した場合、被照射物体としてのマスクでの照明開口数（NA）が変化して、所望の露光条件又は所望の照明条件のもとで良好なマスクパターンをウエハ等の感光性基板上に露光できないという問題がある。

【0009】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、光量損失を良好に抑えつつ、被照射面に形成

される照明領域の大きさと照明NAとをそれぞれ所望の値に調整することのできる照明光学装置、該照明光学装置を備えた露光装置、および該露光装置を用いたマイクロデバイス製造方法を提供することを第1の目的とする。また、本発明は、露光条件又は照明条件を変更したとしても、所望の露光条件又は所望の照明条件のもとで良好なるマスクパターンをウエハ等の感光性基板上に露光でき得る露光装置およびマイクロデバイスの製造方法を提供することを第2の目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】前記第1の目的を解決するために、本発明の第1発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、前記被照射面における照明開口数を調整するために焦点距離または倍率が可変の第1変倍光学系と、前記被照射面に形成される照明領域の大きさを変化させるために焦点距離または倍率が可変の第2変倍光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0011】第1発明の好ましい態様によれば、前記照明開口数と前記照明領域の大きさとをそれぞれ所望の値に設定するために前記第1変倍光学系および前記第2変倍光学系の各焦点距離または各倍率を調整するための調整系を備えていることが好ましい。

【0012】また、第1発明の好ましい態様によれば、照明光を供給するための光源手段と、前記照明光に基づいて多数の光束を形成するための多光源形成手段と、前記光源手段からの光束を所定の断面形状を有する光束に変換するための光束変換光学系とを備え、前記第1変倍光学系は、前記光束変換光学系を介した光束を前記多光源形成手段へ導き、前記第2変倍光学系は、前記多光源形成手段からの多数の光束を前記被照射面へ導くことが好ましい。

【0013】この場合、前記多光源形成手段は、波面分割型のオプティカルインテグレータを有し、前記第1変倍光学系は、前記光束変換光学系を介して形成された発散光束をほぼ平行な光束に変換して前記波面分割型のオプティカルインテグレータの入射面へ導き、前記調整系は、前記被照射面に形成される前記照明領域の大きさを所望の値に調整するために前記第2変倍光学系の焦点距離を変化させ、前記第2変倍光学系の焦点距離の変化に伴って変化する前記照明開口数を所望の値に調整するために前記第1変倍光学系の焦点距離を変化させることが好ましい。

【0014】あるいは、前記多光源形成手段は、内面反射型のオプティカルインテグレータを有し、前記第1変倍光学系は、前記光束変換光学系を介して形成された発散光束を前記内面反射型のオプティカルインテグレータの入射面の近傍へ集光し、前記調整系は、前記被照射面に形成される前記照明領域の大きさを所望の値に調整するために前記第2変倍光学系の倍率を変化させ、前記第

2変倍光学系の倍率の変化に伴って変化する前記照明開口数を所望の値に調整するために前記第1変倍光学系の倍率を変化させることが好ましい。

【0015】また、第1発明の好ましい態様によれば、照明光を供給するための光源手段と、前記光源手段からの光束を所定の断面形状を有する光束に変換するための光束変換光学系とを備え、前記第1変倍光学系は、前記光束変換光学系からの光束を前記第2変倍光学系へ導き、前記第2変倍光学系は、前記第1変倍光学系を介した光束に基づいて多数の光束を形成するための多光源形成手段を含み、前記第2変倍光学系は、前記第1変倍光学系からの光束を前記被照射面へ導くことが好ましい。

【0016】この場合、前記多光源形成手段は、光軸に沿って移動可能な複数の波面分割型のオプティカルインテグレータを含む焦点距離が可変のオプティカルインテグレータ群を有し、前記第1変倍光学系は、前記光束変換光学系を介して形成された発散光束をほぼ平行な光束に変換して前記オプティカルインテグレータ群の入射面へ導き、前記調整系は、前記被照射面に形成される前記照明領域の大きさだけを変化させて所望の値に調整するために前記オプティカルインテグレータ群の焦点距離を変化させ、前記照明開口数だけを変化させて所望の値に調整するために前記第1変倍光学系の焦点距離を変化させることが好ましい。

【0017】また、この場合、前記オプティカルインテグレータ群は、光源側から順に、光軸に沿って移動可能な正屈折力の第1オプティカルインテグレータと、光軸に沿って移動可能な負屈折力の第2オプティカルインテグレータと、光軸に沿って固定された正屈折力の第3オプティカルインテグレータとを有し、前記調整系は、前記オプティカルインテグレータ群の後側焦点面を実質的に移動させることなくその焦点距離を連続的に変化させるために、前記第1オプティカルインテグレータおよび前記第2オプティカルインテグレータを光軸に沿って互いに独立的に移動させることが好ましい。

【0018】さらに、第1発明の好ましい態様によれば、前記光束変換光学系は、照明光路に対して挿脱自在に構成された複数の回折光学素子を有し、前記複数の回折光学素子は、前記光源手段からのほぼ平行な光束を互いに異なる断面形状の発散光束に変換することが好ましい。

【0019】また、本発明の第2発明では、第1発明の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板上へ投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記調整系は、前記マスクのパターンに関する情報に基づいて、前記第1変倍光学系および前記第2変倍光学系の各焦点距離または各倍率を調整することが好ましい。

【0020】さらに、本発明の第3発明では、第1発明

の照明光学装置により前記被照射面に配置されたマスクを照明する工程と、照明された前記マスクのパターンを感光性基板上に転写する工程とを含むことを特徴とする、マイクロデバイスの製造方法を提供する。この場合、前記マスクのパターンに関する情報に基づいて、前記第1変倍光学系および前記第2変倍光学系の各焦点距離または各倍率を調整する工程を含むことが好ましい。

【0021】また、前記第2の目的を解決するために、本発明の第4発明では、所定のパターンを有するマスクのパターンを露光用の光束で照明する照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板に投影露光する投影系とを有する露光装置において、前記感光性基板での露光条件又は前記マスクでの照明条件に関する情報を入力する入力手段を備え、前記照明光学装置は、前記入力手段からの入力情報に基づいて前記露光用の光束を所望の光強度分布を有する光束に変換する光束変換手段と、前記入力手段からの入力情報に基づいて前記マスクでの照明開口数を調整する第1変倍光学系と、前記入力手段からの入力情報に基づいて前記マスクに形成される照明領域の大きさを変化させる第2変倍光学系とを含むことを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記照明光学装置は、前記マスクを均一に照明するオプティカルインテグレータを含み、前記第1変倍光学系は、前記オプティカルインテグレータの入射側に配置されており、前記第2変倍光学系は、前記オプティカルインテグレータの射出側に配置されていることが好ましい。

【0022】さらに、本発明の第5発明では、所定のパターンを有するマスクのパターンを露光用の光束で照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を感光性基板に投影露光する露光工程とを含むマイクロデバイスの製造方法において、前記照明工程は、前記感光性基板での露光条件又は前記マスクでの照明条件に関する情報を入力する入力工程と、前記入力工程からの入力情報に基づいて露光用の光束を所望の光強度分布を有する光束に変換する光束変換工程と、前記入力工程からの入力情報に基づいて前記マスクに形成される照明領域の大きさを変化させる照明領域可変工程と、前記入力手段からの入力情報に基づいて前記マスクでの照明開口数を調整する調整工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。この場合、前記調整工程は、前記照明領域可変工程により変化する照明開口数の値を補正して前記照明開口数の値をほぼ一定に保つことを含むことが好ましい。

【0023】また、本発明の第6発明では、所定のパターンを有するマスクのパターンを露光用の光束で照明する照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板に投影露光する投影系とを有する露光装置において、前記照明光学装置は、該照明光学装置の瞳位置又はその近傍での光強度分布を変化させる変更手段と、該変更手段による光強度分布の変化に応じて前記マスクでの照明

開口数を調整する調整手段とを有することを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記変更手段は、前記露光用の光束を、互いに異なる光強度分布を有する複数の光束の内の1つの光束に選択的に変換する光束変換手段を含むことが好ましい。また、この場合、前記光束変換手段は、第1光強度分布を形成する第1回折光学部材と、光路に対して第1回折光学部材と交換可能に設けられて前記第1光強度分布とは異なる第2光強度分布を形成する第2回折光学部材とを有することが好ましい。

【0024】さらに、本発明の第7発明では、照明光学装置を用いて所定のパターンを有するマスクのパターンを照明する照明工程と、投影系を用いて前記マスクのパターン像を感光性基板に投影露光する露光工程とを含むマイクロデバイスの製造方法において、前記照明工程は、前記照明光学装置の瞳位置又はその近傍での光強度分布を変化させる変更工程と、該変更工程による光強度分布の変化に応じて前記マスクでの照明開口数を調整する調整工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【0025】

【発明の実施の形態】本発明では、被照射面における照明NAを調整するための第1変倍光学系と、被照射面に形成される照明領域の大きさを変化させるための第2変倍光学系とを備えている。そして、本発明の典型的な実施形態では、光源手段からの光束を所定の断面形状を有する発散光束に変換するための光束変換光学系を備え、第1変倍光学系はこの発散光束を集光して多光源形成手段の入射面へ導き、第2変倍光学系は多光源形成手段により形成された多数の光源からの光束を集光して被照射面へ導く。

【0026】具体的には、多光源形成手段としてマイクロフライアイやフライアイレンズのような波面分割型のオプティカルインテグレータを用いる場合、第1変倍光学系は、光束変換光学系を介して形成された発散光束をほぼ平行な光束に変換してオプティカルインテグレータの入射面へ導く。第2変倍光学系は、オプティカルインテグレータの後側焦点面に形成される二次光源からの光束を集光して被照射面へ導く。この場合、マイクロフライアイやフライアイレンズを構成する各レンズエレメント（または微小レンズ）の形状と被照射面に形成される照明領域の形状とは相似であり、その大きさは第2変倍光学系の焦点距離に依存する。

【0027】したがって、第2変倍光学系の焦点距離を変化させると、被照射面に形成される照明領域の大きさが変化するとともに、被照射面における照明NAも変化する。一方、第1変倍光学系の焦点距離を変化させると、オプティカルインテグレータの入射面に形成される照野の大きさが変化し、その結果、照明領域の大きさが変化することなく照明NAだけが変化する。こうして、第2変倍光学系の焦点距離を変化させることによって、

被照射面に形成される照明領域の大きさを変化させて所望の値に調整することができる。そして、第1変倍光学系の焦点距離を変化させることにより、第2変倍光学系の焦点距離の変化に伴って変化した照明NAを所望の値に調整することができる。

【0028】以上のように、本発明の照明光学装置では、第1変倍光学系および第2変倍光学系の各焦点距離（または各倍率）を調整することにより、光量損失を良好に抑えつつ、照明NAと照明領域の大きさとをそれぞれ所望の値に調整することができる。したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、開口絞りや照明視野絞りにおける光量損失を良好に抑えつつ、露光領域の大きさと σ 値とをそれぞれ所望の値に調整することができる。すなわち、本発明の露光装置では、製造すべきマイクロデバイスの特性に応じて、あるいは使用するマスクの特性に応じて、照明領域（露光領域）の大きさおよび σ 値をそれぞれ最適な値に設定し、高い露光照度および良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。

【0029】また、本発明の照明光学装置を用いて被照射面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法あるいはマイクロデバイスの製造方法では、良好な露光条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【0030】また、本発明は、露光条件又は照明条件を変更するために、変更手段または光束変換手段（例えば、円形光束形成用の回折光学部材3、輪帯光束形成用の回折光学部材3a、および4極光束形成用の回折光学部材3bの1つを照明光路に設定する機構等）によって照明光学系の瞳位置（オブティカルインテグレートにより形成される二次光源位置またはそれと光学的に共役な位置）又はその位置近傍での光強度分布を変更すると、照明開口数が増加するが、調整手段としての第1変倍光学系の倍率又は焦点距離の調整（変更）によって照明開口数の変化を補正することができる。従って、所望の露光条件又は所望の照明条件のもとで良好なるマスクパターンをウエハ等の感光性基板上に露光でき得る露光装置およびマイクロデバイスの製造方法を実現できる。

【0031】本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の第1実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、図1では、照明光学装置が通常の円形照明を行うように設定されている。図1の露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源1として、たとえば248nmまたは193nmの波長の光を供給するエキシマレーザ光源を備えている。光源1から基準光軸AXに沿って射出されたほぼ平行な光束は、整形光学系（不図示）を介して所望の矩形状の断面を有する光束に整形された後、光遅延部2に入射する。

【0032】図2は、図1の光遅延部2の内部構成および作用を説明する斜視図である。図2に示すように、光遅延部2は、光軸AXに対して45度に斜設されたハーフミラー200を備えている。したがって、光軸AXに沿ってハーフミラー200に入射した光束は、ハーフミラー200を透過する光束とハーフミラー200で+X方向に反射される光束とに分割される。ハーフミラー200を透過した光束は、光軸AXに沿って円形照明用の回折光学素子（DOE）3に入射する。

【0033】一方、ハーフミラー200で+X方向に反射された光束は、第1の反射ミラー201で-Y方向に反射され、第2の反射ミラー202で-X方向に反射され、第3の反射ミラー203で+Y方向に反射され、第4の反射ミラー204で+X方向に反射された後に、ハーフミラー200に戻る。ハーフミラー200に戻った光束は、ハーフミラー200を透過する光束とハーフミラー200で-Z方向に反射される光束とに分割される。ハーフミラー200で-Z方向に反射された光束は、光軸AXに沿って回折光学素子3に入射する。一方、ハーフミラー200を透過した光束は、第1の反射ミラー201～第4の反射ミラー204を介した後に、ハーフミラー200に再び戻る。

【0034】以上のように、光軸AXに沿って光遅延部2に入射した光束は、ビームスプリッタとしてのハーフミラー200を透過する光束とハーフミラー200で反射される光束とに分割される。ハーフミラー200で反射された光束は、矩形状の遅延光路を形成するように配置された4つの反射ミラー201～204において順次偏向された後に、ハーフミラー200に戻る。このとき、光軸AXに沿ってハーフミラー200に入射する光束の入射位置と矩形状の遅延光路を介してハーフミラー200に戻る光束のハーフミラー200への再入射位置とが一致するように、4つの反射ミラー201～204が配置されている。

【0035】したがって、遅延光路を1回経た後にハーフミラー200で-Z方向に反射された光束P1は、遅延光路を経ることなくハーフミラー200を透過した光束P0と同じ光軸AXに沿って射出され、光束P0と光束P1の間には遅延光路の光路長に等しい光路長差が付与される。同様に、遅延光路を2回経た後にハーフミラー200で反射された光束P2は、光束P0や光束P1と同じ光軸AXに沿って射出される。このとき、光束P0と光束P2の間には遅延光路の光路長の2倍に等しい光路長差が付与され、光束P1と光束P2の間には遅延光路の光路長に等しい光路長差が付与される。すなわち、光遅延部2は、光軸AXに沿って入射する光束を時間的に複数の光束（理論的には無限数の光束であるが、エネルギーの小さい光束の影響を無視すれば実用的には有限数の光束）に分割し、時間的に連続する2つの光束の間に遅延光路の光路長に等しい光路長差を付与す

る。

【0036】なお、一般に、反射ミラーの反射率はP偏光入射とS偏光入射とは異なり、S偏光入射の方がP偏光入射よりも高い反射率を確保することができる。したがって、光遅延部2では、遅延光路における光損失を回避するために、4個の反射ミラー201～204に対してS偏光状態で光束が入射するように構成することが好ましい。本実施形態の場合、図2に示すように、ハーフミラー200に対してP偏光状態で光束を入射させることにより、4個の反射ミラー201～204に対してS偏光入射が可能となる。

【0037】以上のように、光遅延部2により、光軸AXに沿って入射する光束は、時間的に複数の光束に分割され、時間的に連続する2つの光束の間には遅延光路の光路長と等しい光路長差が付与される。ここで、付与される光路長差は、コヒーレント光源1からの光束の時間的可干渉距離以上に設定されている。したがって、光遅延部2により分割される波連においてコヒーレンシー

(可干渉性)を低減することができ、被照明面における干渉縞やスペックルの発生を良好に抑えることができる。この種の光遅延手段に関するさらに詳細な構成および作用は、たとえば特開平11-174365号公報、特願平10-117434号明細書および図面、特願平11-21591号明細書および図面、特願平11-25629号明細書および図面などに開示されている。

【0038】上述したように、光遅延部2を介した矩形形状のほぼ平行な光束は、回折光学素子3に入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、円形照明用の回折光学素子3は、光軸AXに沿って入射した矩形形状のほぼ平行な光束を、円形状の断面を有する発散光束に変換する。このように、回折光学素子3は、光源1からの光束を所定の断面形状(この場合は円形状)を有する発散光束に変換するための光束変換光学系を構成している。

【0039】回折光学素子3を介した円形状の発散光束は、第1のコンデンサー光学系(第1変倍光学系)としてのズームレンズ4を介した後、多光源形成手段又はオプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイ5に入射する。こうして、マイクロフライアイ5の入射面には、円形状の照野が形成される。そして、形成される照野の大きさ(すなわちその直径または半径)は、後述するように、ズームレンズ4の焦点距離に依存して変化する。なお、マイクロフライアイ5は、縦横に且つ稠密に配列された多数の矩形形状の正屈折力を有する微小レンズ(微小レンズエレメント)からなる光学素子である。一般に、マイクロフライアイは、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

【0040】ここで、マイクロフライアイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズが互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズエレメントが縦横に配置されている点でマイクロフライアイはフライアイレンズと同じである。なお、図1並びに他の関連する図3、図6および図7では、図面の明瞭化のために、マイクロフライアイを構成する微小レンズの数を実際よりも非常に少なく表している。

【0041】したがって、マイクロフライアイ5に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、各微小レンズの後側焦点面(すなわちその射出面の近傍)にはそれぞれ1つの光源像が形成される。こうして、マイクロフライアイ5の後側焦点面には、マイクロフライアイ5への入射光束によって形成される照野と同じ円形状の多数光源(以下、「二次光源」という)が形成される。このように、マイクロフライアイ5は、波面分割型のオプティカルインテグレータであって、光源1からの光束に基づいて多数の光源(多数の光束)を形成するための多光源形成手段を構成している。

【0042】また、ズームレンズ4は、その前側焦点面と回折光学素子3の回折面とが一致し且つその後側焦点面とマイクロフライアイ5の入射面とが一致するように、焦点距離を連続的に変化させることが好ましい。したがって、ズームレンズ4は、光軸に沿って互いに独立に移動可能な3つのレンズ群を備えていることが好ましい。マイクロフライアイ5の後側焦点面に形成された円形状の二次光源からの光束は、その近傍に配置された円形照明用の開口絞り6に入射する。この開口絞り6は、マイクロフライアイ5の後側焦点面に形成される円形状の二次光源に対応した円形状の開口部(光透過部)を有する。

【0043】なお、回折光学素子3は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯変形照明用の回折光学素子3aや4極変形照明用の回折光学素子3bと切り換え可能に構成されている。輪帯変形照明用の回折光学素子3aおよび4極変形照明用の回折光学素子3bの構成および作用については後述する。また、ズームレンズ4は、上述したように、所定の範囲で焦点距離を連続的に変化させることができるように構成されている。さらに、開口絞り6は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ開口部の大きさの異なる複数の円形照明用の開口絞りや、開口部の大きさの異なる複数の輪帯変形照明用の開口絞りや、開口部の大きさの異なる複数の4極変形照明用の開口絞りと切り換え可能に構成されている。

【0044】ここで、円形照明用の回折光学素子3と輪帯変形照明用の回折光学素子3aや4極変形照明用の回

折光学素子 3 b との間の切り換えは、制御系 2 1 からの指令に基づいて動作する第 1 駆動系 2 2 により行われる。また、ズームレンズ 4 の焦点距離の変化は、制御系 2 1 からの指令に基づいて動作する第 2 駆動系 2 3 により行われる。さらに、円形照明用の開口絞り 6 と他の開口絞りとの間の切り換えは、制御系 2 1 からの指令に基づいて動作する第 3 駆動系 2 4 により行われる。

【0045】なお、円形照明用の開口絞り 6 と他の開口絞りとの間の切り換えは、たとえばターレット方式やスライド方式などの適当な方式によって切り換えられる。また、ターレット方式やスライド方式などの開口絞りに限定されることなく、光透過領域の大きさおよび形状を適宜変更することの可能な開口絞りを照明光路内に固定的に取り付けてもよい。さらに、複数の円形開口絞りに代えて、円形開口径を連続的に変化させることのできる虹彩絞りを設けることもできる。

【0046】円形状の開口部を有する開口絞り 6 を介した二次光源からの光は、第 2 のコンデンサー光学系（第 2 変倍光学系）としてのズームレンズ 7 の集光作用を受けた後、後述するマスク 1 0 と光学的に共役な所定面を重畳的に照明する。こうして、この所定面には、マイクロフライアイ 5 を構成する各微小レンズの形状と相似な矩形形状の照野が形成される。そして、この所定面に形成される矩形形状の照野の大きさおよび照明 NA は、後述するように、ズームレンズ 7 の焦点距離に依存して変化する。

【0047】ズームレンズ 7 は、その前側焦点面とマイクロフライアイ 5 の後側焦点面とが一致し且つその後側焦点面と上述の所定面とが一致するように、焦点距離を連続的に変化させることが好ましい。したがって、ズームレンズ 7 は、ズームレンズ 4 と同様に、光軸に沿って互いに独立に移動可能な 3 つのレンズ群を備えていることが好ましい。このように、ズームレンズ 7 は、所定の範囲で焦点距離を連続的に変化させることができるように構成され、その焦点距離の変化は制御系 2 1 からの指令に基づいて動作する第 4 駆動系 2 5 により行われる。

【0048】なお、マスク 1 0 と光学的に共役な所定面には、照明視野絞りとしてのマスクブラインド 8 が配置されている。マスクブラインド 8 の開口部（光透過部）を介した光束は、リレー光学系 9 の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスク 1 0 を重畳的に均一照明する。こうして、リレー光学系 9 は、マスクブラインド 8 の矩形形状の開口部の像をマスク 1 0 上に形成することになる。

【0049】マスク 1 0 のパターンを透過した光束は、投影光学系 1 1 を介して、感光性基板であるウエハ（あるいはプレート）1 2 上にマスクパターンの像を形成する。なお、ウエハ 1 2 は、投影光学系 1 1 の光軸 AX と直交する平面内において二次元的に移動可能なウエハステージ 1 3 上に保持されている。こうして、ウエハ 1 2

を二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光（走査露光）を行うことにより、ウエハ 1 2 の各露光領域（ショット領域）にはマスク 1 0 のパターンが逐次露光される。

【0050】なお、一括露光方式では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウエハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスク 1 0 上での照明領域の形状は正方形に近い矩形形状であり、マイクロフライアイ 5 の各微小レンズの断面形状も正方形に近い矩形形状となる。一方、スキャン露光方式では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウエハを投影光学系に対して相対移動させながらウエハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。この場合、マスク 1 0 上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば 1 : 3 の矩形形状であり、マイクロフライアイ 5 の各微小レンズの断面形状もこれと相似な矩形形状となる。

【0051】図 3 は、ズームレンズ 4 およびズームレンズ 7 の焦点距離と、マスク 1 0 と共役な所定面に形成される矩形形状の照野の大きさおよび照明 NA との関係を説明する図である。図 3（a）において、回折光学素子 3 の回折面と光軸 AX との交点から最大射出角度 θ_1 で射出された光線 3 0 は、最大焦点距離 f_{11} に設定されたズームレンズ 4 を介して光軸 AX と平行になり、マイクロフライアイ 5 に入射する。マイクロフライアイ 5 は、焦点距離が f_m の微小レンズから構成されている。ここで、図 3 の紙面に沿った各微小レンズのサイズは d である。

【0052】マイクロフライアイ 5 から光軸 AX と平行に射出された最も外側の光線 3 1 は、最大焦点距離 f_{21} に設定されたズームレンズ 7 を介した後、入射角度 θ_{21} でマスク 1 0 と共役な所定面 3 2 と光軸 AX との交点に達する。こうして、所定面 3 2 には、微小レンズの形状と相似な矩形形状の照野 3 3 が形成される。そして、図 3 の紙面に沿った照野 3 3 のサイズは ϕ_1 となる。

【0053】ここで、図 3（b）に示すように、ズームレンズ 4 の焦点距離を最大焦点距離 f_{11} から最小焦点距離 f_{12} まで変化させるとともに、ズームレンズ 7 の焦点距離を最大焦点距離 f_{21} から最小焦点距離 f_{22} まで変化させる。この場合、回折光学素子 3 の回折面と光軸 AX との交点から最大射出角度 θ_1 で射出された光線 3 0 は、最小焦点距離 f_{12} に設定されたズームレンズ 4 を介して光軸 AX と平行になり、マイクロフライアイ 5 に入射する。

【0054】マイクロフライアイ 5 から光軸 AX と平行に射出された最も外側の光線 3 1 は、最小焦点距離 f_{22} に設定されたズームレンズ 7 を介した後、入射角度 θ_{22} でマスク 1 0 と共役な所定面 3 2 と光軸 AX との交点に達する。こうして、所定面 3 2 には、微小レンズの形状と相似な矩形形状の照野 3 3 が形成される。ここで、

図3の紙面に沿った照野33のサイズは $\phi 2$ となる。

【0055】図3(a)において、次の式(1)および(2)に示す関係が成立する。

$$f_{11} \cdot \sin \theta_1 = f_{21} \cdot \sin \theta_{21} \quad (1)$$

$$\phi_1 = (f_{21}/f_m) d \quad (2)$$

また、図3(b)では、次の式(3)および(4)に示す関係が成立する。

$$f_{12} \cdot \sin \theta_1 = f_{22} \cdot \sin \theta_{22} \quad (3)$$

$$\phi_2 = (f_{22}/f_m) d \quad (4)$$

【0056】上述の式(2)および(4)を参照すると、照野33がズームレンズ7による微小レンズの投影であって、照野33のサイズ ϕ がズームレンズ7の焦点距離 f_2 に比例することがわかる。すなわち、図3

(a)における照野33のサイズ ϕ_1 が最大サイズであり、図3(b)における照野33のサイズ ϕ_2 が最小サイズであることがわかる。

【0057】また、上述の式(1)および(3)を参照すると、 θ_1 が回折光学素子3に固有の値であるため、所定面32への入射角度 θ_2 の正弦値 $\sin \theta_2$ がズームレンズ4の焦点距離 f_1 とズームレンズ7の焦点距離 f_2 との比、すなわち f_1/f_2 に依存することがわかる。換言すると、図3(a)における照野33の照明NAは f_{11}/f_{21} に比例し、図3(b)における照野33の照明NAは f_{12}/f_{22} に比例することがわかる。

【0058】さらに、図3(a)および図3(b)を参照するとわかるように、マイクロフライアイ5の入射面に形成される円形状の照野のサイズは、ズームレンズ4の焦点距離 f_1 に比例する。すなわち、図3(a)においてマイクロフライアイ5の入射面に形成される照野のサイズが最大であり、図3(b)においてマイクロフライアイ5の入射面に形成される照野のサイズが最小であることがわかる。

【0059】以上のように、ズームレンズ7の焦点距離 f_2 を変化させると、所定面32に形成される照野の大きさ、ひいてはマスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさ、さらにウエハ12の露光面に形成される露光領域の大きさが変化する。また、ズームレンズ7の焦点距離 f_2 の変化に伴って、所定面32における照明NAが、ひいてはマスク10のパターン面における照明NAが変化する。さらに詳細には、ズームレンズ7の焦点距離 f_2 を大きくすると、マスク10上の照明領域が大きくなり、照明NAが大きくなる。このように、ズームレンズ7は、被照射面であるマスク10(ひいてはウエハ12)上に形成される照明領域の大きさを変化させるための第2変倍光学系を構成している。

【0060】一方、ズームレンズ4の焦点距離 f_1 を変化させると、マスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさが変化することなく、マイクロフライアイ5の入射面に形成される照野の大きさが変化する、マスク

10上における照明NAが変化する。さらに詳細には、ズームレンズ4の焦点距離 f_1 を小さくすると、マスク10上の照明領域の大きさが変化することなく、マスク10上における照明NAだけが小さくなる。このように、ズームレンズ4は、被照射面であるマスク10上における照明NAだけを変化させるための第1変倍光学系を構成している。

【0061】したがって、本実施形態では、ズームレンズ7の焦点距離を所定の値に設定することにより、マスクブラインド8で実質的に光損失することなく、マスク10上において所望の大きさの照明領域を得ることができる。また、所定の値に設定されたズームレンズ7の焦点距離に対してズームレンズ4の焦点距離を所定の値に設定することにより、開口絞り6で実質的に光損失することなく、マスク10上において所望の大きさの照明NAを得ることができる。

【0062】前述したように、回折光学素子3は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯変形照明用の回折光学素子3aや4極変形照明用の回折光学素子3bと切り換え可能に構成されている。以下、回折光学素子3に代えて回折光学素子3aを照明光路中に設定することによって得られる輪帯変形照明について説明する。

【0063】図4は、輪帯変形照明用の回折光学素子3aの作用を説明する図である。輪帯変形照明用の回折光学素子3aは、図4に示すように、光軸AXに沿って垂直入射した円形光束断面を有する円形ビームを、光軸AXを中心として等角度であらゆる方向に沿って回折することによりリング状光束断面を有するリング状のビームに変換する。したがって、この回折光学素子3aに光軸AXに沿って円形断面の平行光束が入射すると、図4に示すように、輪帯状の発散光束となる。このように、回折光学素子3aは、光源1からの光束を実質的に輪帯状の発散光束に変換するための光束変換光学系を構成している。

【0064】回折光学素子3aを介した輪帯状の発散光束は、ズームレンズ4を介した後、マイクロフライアイ5に入射する。こうして、マイクロフライアイ5の入射面には、輪帯状の照野が形成される。その結果、マイクロフライアイ5の後側焦点面には、入射面に形成された照野と同じ輪帯状の二次光源が形成される。以上のように、マイクロフライアイ5の後側焦点面には、光源1からの光束に基づいて、ほとんど光量損失することなく輪帯状の二次光源が形成される。

【0065】なお、回折光学素子3から回折光学素子3aへの切り換えに対応して、円形開口絞りから輪帯開口絞りへの切り換えが行われる。ここで、照明光路に位置決めされる輪帯開口絞りは、輪帯状の二次光源に対応した輪帯状の開口部を有する開口絞りである。このように、輪帯変形照明用の回折光学素子3aを用いることにより、光源1からの光束に基づいてほとんど光量損失す

ることなく輪帯状の二次光源を形成することができ、その結果二次光源からの光束を制限する開口絞りにおける光量損失を良好に抑えつつ輪帯変形照明を行うことができる。

【0066】次いで、たとえば回折光学素子3に代えて回折光学素子3bを照明光路中に設定することによって得られる4極変形照明について説明する。図5は、4極変形照明用の回折光学素子3bの作用を説明する図である。4極変形照明用の回折光学素子3bは、図5に示すように、光軸AXに沿って垂直入射した円形光束断面を有する円形ビームを、光軸AXを中心として等角度で特定の4つの方向に沿って回折することによって4つの細いビームに変換する。したがって、この回折光学素子3bに光軸AXに沿って円形断面の平行光束が入射すると、図5に示すように4極状の発散光束となる。このように、回折光学素子3bは、光源1からの光束を光軸AXに対して偏心した4つの発散光束に変換するための光束変換光学系を構成している。

【0067】回折光学素子3bを介した4極状の発散光束は、ズームレンズ4を介した後、マイクロフライアイ5に入射する。こうして、マイクロフライアイ5の入射面には、4極状の照野が形成される。その結果、マイクロフライアイ5の後側焦点面には、入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成される。以上のように、マイクロフライアイ5の後側焦点面には、光源1からの光束に基づいて、ほとんど光量損失することなく4極状の二次光源が形成される。

【0068】なお、回折光学素子3から回折光学素子3bへの切り換えに対応して、円形開口絞りから4極開口絞りへの切り換えが行われる。ここで、照明光路に位置決めされる4極開口絞りは、4極状の二次光源に対応した4つ目状の開口部を有する開口絞りである。このように、4極変形照明用の回折光学素子3bを用いることにより、光源1からの光束に基づいてほとんど光量損失することなく4極状の二次光源を形成することができ、その結果二次光源からの光束を制限する開口絞りにおける光量損失を良好に抑えつつ4極変形照明を行うことができる。

【0069】以下、本実施形態における照明領域の大きさおよび照明NAの調整動作などについて具体的に説明する。まず、ステップ・アンド・リピート方式またはステップ・アンド・スキャン方式にしたがって順次露光すべき各種のマスクに関する情報、各種マスクの照明条件又は順次露光されるべきウエハの露光条件に関する情報などが、キーボードなどの入力手段20を介して制御系21に入力される。制御系21は、各種のマスクや各ウエハに関して、照明領域（露光領域）の所望の大きさ、最適な照明NA、最適な線幅（解像度）、所望の焦点深度等の情報を内部のメモリー部に記憶しており、入力手段20からの入力に応答して第1駆動系22～第4駆動

系25に適切な制御信号を供給する。

【0070】すなわち、所望の大きさの照明領域、最適な照明NA、最適な解像度および所望の焦点深度のもとで通常円形照明する場合、第1駆動系22は制御系21からの指令に基づいて円形照明用の回折光学素子3を照明光路中に位置決めする。そして、マスク10上において所望の大きさを有する照明領域を得るために、第4駆動系25は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ7の焦点距離を設定する。また、マスク10上において所望の照明NAを得るために、第2駆動系23は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ4の焦点距離を設定する。さらに、マイクロフライアイ5の後側焦点面に形成される円形状の二次光源を光量損失を良好に抑えた状態で制限するために、第3駆動系24は制御系21からの指令に基づいて、所望の円形開口絞りを照明光路中に位置決めする。

【0071】さらに、必要に応じて、第2駆動系23によりズームレンズ4の焦点距離を変化させたり、第4駆動系25によりズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、マスク10上に形成される照明領域の大きさおよび照明NAを互いに独立的に適宜変更することができる。この場合、ズームレンズ4の焦点距離の変化に伴う円形状の二次光源の大きさの変化に応じて、所望の円形開口絞りが選択されて照明光路中に位置決めされる。

【0072】以上のように、入力手段20、制御系21、第2駆動系23、および第3駆動系24は、照明NAと照明領域の大きさとをそれぞれ所望の値に設定するために第1変倍光学系および第2変倍光学系の各焦点距離を調整するための調整系を構成している。こうして、ほとんど光量損失することなく、マスク10上に形成される照明領域の大きさと照明NAとをそれぞれ所望の値に設定して最適な円形照明を行うことができる。

【0073】また、所望の大きさの照明領域、最適な照明NA、最適な解像度および所望の焦点深度のもとで輪帯変形照明する場合、第1駆動系22は制御系21からの指令に基づいて輪帯変形照明の回折光学素子3aを照明光路中に位置決めする。そして、マスク10上において所望の大きさを有する照明領域を得るために、第4駆動系25は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ7の焦点距離を設定する。また、マスク10上において所望の照明NAを得るために、第2駆動系23は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ4の焦点距離を設定する。さらに、マイクロフライアイ5の後側焦点面に形成される輪帯状の二次光源を光量損失を良好に抑えた状態で制限するために、第3駆動系24は制御系21からの指令に基づいて、所望の輪帯開口絞りを照明光路中に位置決めする。

【0074】さらに、必要に応じて、第2駆動系23によりズームレンズ4の焦点距離を変化させたり、第4駆

動系25によりズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、マスク10上に形成される照明領域の大きさおよび照明NAを互いに独立的に適宜変更することができる。この場合、ズームレンズ4の焦点距離の変化に伴う輪帯状の二次光源の大きさ（すなわち輪帯状の二次光源に外接する円の大きさ）の変化に応じて、所望の輪帯開口絞りが選択されて照明光路中に位置決めされる。こうして、ほとんど光量損失することなく、マスク10上に形成される照明領域の大きさと照明NAとをそれぞれ所望の値に設定して最適な輪帯変形照明を行うことができる。

【0075】さらに、所望の大きさの照明領域、最適な照明NA、最適な解像度および所望の焦点深度のもとで4極変形照明する場合、第1駆動系22は制御系21からの指令に基づいて輪帯変形照明の回折光学素子3bを照明光路中に位置決めする。そして、マスク10上において所望の大きさを有する照明領域を得るために、第4駆動系25は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ7の焦点距離を設定する。また、マスク10上において所望の照明NAを得るために、第2駆動系23は制御系101からの指令に基づいてズームレンズ4の焦点距離を設定する。さらに、マイクロフライアイ5の後側焦点面に形成される4極状の二次光源を光量損失を良好に抑えた状態で制限するために、第3駆動系24は制御系21からの指令に基づいて、所望の4極開口絞りを照明光路中に位置決めする。

【0076】さらに、必要に応じて、第2駆動系23によりズームレンズ4の焦点距離を変化させたり、第4駆動系25によりズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、マスク10上に形成される照明領域の大きさおよび照明NAを互いに独立的に適宜変更することができる。この場合、ズームレンズ4の焦点距離の変化に伴う4極状の二次光源の大きさ（すなわち4極状の二次光源に外接する円の大きさ）の変化に応じて、所望の4極開口絞りが選択されて照明光路中に位置決めされる。こうして、ほとんど光量損失することなく、マスク10上に形成される照明領域の大きさと照明NAとをそれぞれ所望の値に設定して最適な4極変形照明を行うことができる。

【0077】以上のように本実施形態では、第1変倍光学系としてのズームレンズ4および第2変倍光学系としてのズームレンズ7の焦点距離を制御することにより、開口絞り6や照明視野絞り8における光量損失を良好に抑えつつ、マスク10上における照明NAと照明領域の大きさとを、ひいてはウエハ12上における露光領域の大きさと σ 値とを所望の値に調整することができる。すなわち、本実施形態の露光装置では、製造すべきマイクロデバイスの特性に応じて、あるいは使用するマスク10の特性に応じて、照明領域（露光領域）の大きさおよび σ 値をそれぞれ最適な値に設定し、高い露光強度およ

び良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。

【0078】また、上述の実施形態では、二次光源を制限するための開口絞りにおける光量損失を良好に抑えつつ、輪帯変形照明や4極変形照明のような変形照明および通常円形照明を行うことができる。したがって、変形照明の種類を適宜変化させて、露光投影すべき微細パターンに適した投影光学系の解像度および焦点深度を得ることができる。その結果、高い露光強度および良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。

【0079】また、露光条件又は照明条件を変更するために、変更手段または光束変換手段（例えば、円形光束形成用の回折光学部材3、輪帯光束形成用の回折光学部材3a、および4極光束形成用の回折光学部材3bの1つを照明光路に設定する機構等）によって照明光学系の瞳位置（オプティカルインテグレートにより形成される二次光源位置またはそれと光学的に共役な位置）又はその位置近傍での光強度分布を変更すると、照明開口数NAが変化する可能性がある。その露光条件又は照明条件の変更に伴う照明開口数の変化を、調整手段としての第1変倍光学系4の倍率又は焦点距離の調整（変更）によって補正することができる。

【0080】その場合、制御系21は、入力手段20を介して内部のメモリー部に記憶された各マスクや各ウエハの露光条件又は照明条件に基づいて適切な制御信号を、第1駆動系22、第2駆動系23および第3駆動系24へそれぞれ出力する。すなわち、第1駆動系22によって適切な回折光学素子（3、3a、3b）が照明光路内に設定されるとともに、第3駆動系24によって適切な形状又は適切な大きさの開口を有する開口絞りが照明光路内に設定されると同時に、照明開口数の変化を補正するために、第2駆動系23によって第1変倍光学系が適切な倍率又は適切な焦点距離に調整（変更）される。これによって、所望の露光条件又は所望の照明条件のもとで良好なるマスクパターンをウエハ等の感光性基板上に露光でき得る露光装置およびマイクロデバイスの製造方法を実現できる。

【0081】図6は、本発明の第2実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第2実施形態は、第1実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第1実施形態では多光源形成手段として1つのマイクロフライアイ5からなる焦点距離が不変のオプティカルインテグレートを用い且つコンデンサー光学系として焦点距離が可変のズームレンズ7を用いているが、第2実施形態では多光源形成手段として3つのマイクロフライアイ51～53からなる焦点距離が可変のマイクロフライアイ群50を用い且つコンデンサー光学系として焦点距離が不変のコンデンサーレンズ70を用いている点だけが基本的に相違している。

【0082】したがって、図6において、第1実施形態の構成要素と同様の機能を有する要素には図1と同じ参照符号を付している。以下、第1実施形態との相違点に着目して第2実施形態を説明する。なお、図6においても照明光学装置が通常の円形照明を行うように設定されているが、第1実施形態と同様に回折光学素子を切り換えることにより輪帯変形照明や4極変形照明が可能であり、この点について重複する説明を省略する。

【0083】第2実施形態では、光源側から順に、正屈折力の微小レンズからなる第1マイクロフライアイ51と、負屈折力の微小レンズからなる第2マイクロフライアイ52と、正屈折力の微小レンズからなる第3マイクロフライアイ53とから構成されたマイクロフライアイ群50が設けられている。ここで、マイクロフライアイ51～53を構成する各微小レンズはともに矩形状の断面を有し、そのサイズは同じである。

【0084】また、第1マイクロフライアイ51および第2マイクロフライアイ52は光軸AXに沿って互いに独立的に移動可能であり、第3マイクロフライアイ53は光軸AXに沿って固定である。そして、マイクロフライアイ群50の後側焦点面が移動しないように第1マイクロフライアイ51および第2マイクロフライアイ52を光軸AXに沿って互いに独立的に移動させることにより、マイクロフライアイ群50の焦点距離が最大焦点距離 f_{501} から最小焦点距離 f_{502} まで連続的に変化するように構成されている。なお、マイクロフライアイ群50の焦点距離の変化は、第1実施形態と同様に、制御系からの指令に基づいて動作する駆動系により行われる。

【0085】図7は、ズームレンズ4およびマイクロフライアイ群50の焦点距離と、マスク10と共役な所定面に形成される矩形状の照野の大きさおよび照明NAとの関係を説明する図である。図7(a)において、回折光学素子3の回折面と光軸AXとの交点から最大射出角度 θ_1 で射出された光線30は、最大焦点距離 f_{11} に設定されたズームレンズ4を介して光軸AXと平行になり、マイクロフライアイ群50に入射する。マイクロフライアイ群50は、最大焦点距離 f_{501} に設定されている。ここで、マイクロフライアイ群50を構成する各マイクロフライアイ51～53において、図7の紙面に沿った各微小レンズのサイズは d である。

【0086】マイクロフライアイ群50から光軸AXと平行に射出された最も外側の光線31は、焦点距離 f_{70} を有するコンデンサーレンズ70を介した後、入射角度 θ_{21} でマスク10と共役な所定面32と光軸AXとの交点に達する。こうして、所定面32には、微小レンズの形状と相似な矩形状の照野33が形成される。そして、図7の紙面に沿った照野33のサイズは ϕ_3 となる。

【0087】ここで、図7(b)に示すように、ズーム

レンズ4の焦点距離を最大焦点距離 f_{11} から最小焦点距離 f_{12} まで変化させるとともに、マイクロフライアイ群50の焦点距離を最大焦点距離 f_{501} から最小焦点距離 f_{502} まで変化させる。この場合、回折光学素子3の回折面と光軸AXとの交点から最大射出角度 θ_1 で射出された光線30は、最小焦点距離 f_{12} に設定されたズームレンズ4を介して光軸AXと平行になり、最小焦点距離 f_{502} に設定されたマイクロフライアイ群50に入射する。

【0088】マイクロフライアイ群50から光軸AXと平行に射出された最も外側の光線31は、焦点距離 f_{70} を有するコンデンサーレンズ70を介した後、入射角度 θ_{22} でマスク10と共役な所定面32と光軸AXとの交点に達する。こうして、所定面32には、微小レンズの形状と相似な矩形状の照野33が形成される。ここで、図7の紙面に沿った照野33のサイズは ϕ_4 となる。

【0089】図7(a)において、次の式(5)および(6)に示す関係が成立する。

$$f_{11} \cdot \sin \theta_1 = f_{70} \cdot \sin \theta_{21} \quad (5)$$

$$\phi_3 = (f_{70} / f_{501}) d \quad (6)$$

また、図7(b)では、次の式(7)および(8)に示す関係が成立する。

$$f_{12} \cdot \sin \theta_1 = f_{70} \cdot \sin \theta_{22} \quad (7)$$

$$\phi_4 = (f_{70} / f_{502}) d \quad (8)$$

【0090】上述の式(6)および(8)を参照すると、照野33のサイズ ϕ がマイクロフライアイ群50の焦点距離 f_{50} に反比例することがわかる。すなわち、図7(a)における照野33のサイズ ϕ_3 が最小サイズであり、図7(b)における照野33のサイズ ϕ_4 が最大サイズであることがわかる。また、上述の式(5)および(7)を参照すると、 θ_1 の値および f_{70} の値が不変であるため、所定面32への入射角度 θ_2 の正弦値 $\sin \theta_2$ がズームレンズ4の焦点距離 f_1 に依存することがわかる。換言すると、図7(a)における照野33の照明NAは f_{11} に比例して最大であり、図7(b)における照野33の照明NAは f_{12} に比例して最小であることがわかる。

【0091】以上のように、マイクロフライアイ群50の焦点距離 f_{50} を変化させると、所定面32に形成される照野、ひいてはマスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさが変化する。さらに詳細には、マイクロフライアイ群50の焦点距離 f_{50} を大きくすると、マスク10上の照明NAが変化することなく、マスク10上の照明領域の大きさだけが小さくなる。このように、マイクロフライアイ群50は、多光源形成手段を構成するとともに、被照射面であるマスク10(ひいてはウエハ12)上に形成される照明領域の大きさを変化させるための第2変倍光学系の一部を構成している。

【0092】一方、ズームレンズ4の焦点距離 f_1 を変

化させると、マイクロフライアイ群50の入射面に形成される照野の大きさが変化し、マスク10上における照明NAが変化する。さらに詳細には、ズームレンズ4の焦点距離 f_1 を小さくすると、マスク10上に形成される照明領域の大きさが変化することなく、マスク10上における照明NAだけが小さくなる。このように、ズームレンズ4は、被照射面であるマスク10上における照明NAだけを変化させるための第1変倍光学系を構成している。

【0093】したがって、第2実施形態では、マイクロフライアイ群50の焦点距離を所定の値に設定することにより、マスクブラインド8で実質的に光損失することなく、マスク10上において所望の大きさの照明領域を得ることができる。また、ズームレンズ4の焦点距離を所定の値に設定することにより、開口絞り6で実質的に光損失することなく、マスク10上において所望の大きさの照明NAを得ることができる。

【0094】図8は、本発明の第3実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第3実施形態は、第1実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第1実施形態では多光源形成手段として波面分割型のオブティカルインテグレータであるマイクロフライアイ5を用いているが、第3実施形態では内面反射型のオブティカルインテグレータであるロッド型インテグレータ500を用いていることだけが基本的に相違している。

【0095】したがって、図8において、第1実施形態の構成要素と同様の機能を有する要素には図1と同じ参照符号を付している。以下、第1実施形態との相違点に着目して第3実施形態を説明する。なお、図8においても照明光学装置が通常の円形照明を行うように設定されているが、第1実施形態と同様に回折光学素子を切り換えることにより輪帯変形照明や4極変形照明が可能であり、この点について重複する説明を省略する。

【0096】第3実施形態では、マイクロフライアイ5に代えてロッド型インテグレータ500を用いることに対応して、回折光学素子3とロッド型インテグレータ500の間の光路中に第1結像光学系（第1変倍光学系）としてのズームレンズ41を付設するとともに、ズームレンズ7およびリレー光学系9に代えて第2結像光学系（第2変倍光学系）としてのズームレンズ71を設置している。また、照明視野絞りとしてのマスクブラインド8は、ロッド型インテグレータ500の射出面の近傍に配置されている。

【0097】ここで、ズームレンズ41は、回折光学素子3の回折面とロッド型インテグレータ500の入射面とを光学的に共役に維持しながらその結像倍率 m_1 を連続的に変化させるように構成されている。また、ズームレンズ71は、ロッド型インテグレータ500の射出面とマスク10のパターン面とを光学的に共役に維持しな

がらその結像倍率 m_2 を連続的に変化させるように構成されている。なお、ズームレンズ41およびズームレンズ71の倍率の変化は、第1実施形態と同様に、制御系からの指令に基づいて動作する駆動系によりそれぞれ行われる。

【0098】ロッド型インテグレータ500は、石英ガラスや蛍石のような硝子材料からなる内面反射型のガラスロッドであり、内部と外部との境界面すなわち内面での全反射を利用して集光点を通りロッド入射面に平行な面に沿って内面反射数に応じた数の光源像を形成する。ここで、形成される光源像のほとんどは虚像であるが、中心（集光点）の光源像のみが実像となる。すなわち、ロッド型インテグレータ500に入射した光束は内面反射により角度方向に分割され、集光点を通りその入射面に平行な面に沿って多数の光源像からなる二次光源が形成される。

【0099】ロッド型インテグレータ500によりその入射側に形成された二次光源からの光束は、その射出面において重畳された後、ズームレンズ71を介して所定のパターンが形成されたマスク10を均一照明する。上述したように、ズームレンズ71は、ロッド型インテグレータ500の射出面とマスク10（ひいてはウエハ12）とを光学的にほぼ共役に結んでいる。したがって、マスク10上には、ロッド型インテグレータ500の断面形状と相似な矩形状の照野が形成される。

【0100】図9は、ズームレンズ41およびズームレンズ71の倍率と、マスク10と共役な所定面に形成される矩形状の照野の大きさおよび照明NAとの関係を説明する図である。図9（a）において、回折光学素子3の回折面と光軸AXとの交点から最大射出角度 θ_1 で射出された光線30は、最大倍率 m_{11} に設定されたズームレンズ41を介した後、光軸AXとロッド型インテグレータ500の入射面との交点に入射角度 θ_{11} で入射する。ここで、図9の紙面に沿ったロッド型インテグレータ500の射出面のサイズは d_5 である。

【0101】光軸AXとロッド型インテグレータ500の射出面との交点から射出角度 θ_{11} で射出された光線31は、最大倍率 m_{21} に設定されたズームレンズ71を介した後、入射角度 θ_{21} でマスク10と共役な所定面32と光軸AXとの交点に達する。こうして、所定面32には、ロッド型インテグレータ500の射出面と相似な（さらに厳密にはマスクブラインド8の開口部の形状と相似な）矩形状の照野33が形成される。そして、図9の紙面に沿った照野33のサイズは ϕ_5 となる。

【0102】ここで、図9（b）に示すように、ズームレンズ41の倍率を最大倍率 m_{11} から最小倍率 m_{12} まで変化させるとともに、ズームレンズ71の倍率を最大倍率 m_{21} から最小倍率 m_{22} まで変化させる。この場合、回折光学素子3の回折面と光軸AXとの交点から最大射出角度 θ_1 で射出された光線30は、最小倍率 m

12に設定されたズームレンズ41を介した後、光軸AXとロッド型インテグレータ500の入射面との交点に入射角度 $\theta 12$ で入射する。

【0103】光軸AXとロッド型インテグレータ500の射出面との交点から射出角度 $\theta 12$ で射出された光線31は、最小倍率 $m 22$ に設定されたズームレンズ71を介した後、入射角度 $\theta 22$ でマスク10と共役な所定面32と光軸AXとの交点に達する。こうして、所定面32には、ロッド型インテグレータ500の射出面と相似な矩形状の照野33が形成される。ここで、図9の紙面に沿った照野33のサイズは $\phi 6$ となる。

【0104】図9(a)において、次の式(9)および(10)に示す関係が成立する。

$$\theta 11 = m 11 \cdot \theta 1 = m 21 \cdot \theta 2 \quad (9)$$

$$\phi 5 = m 21 \cdot d 5 \quad (10)$$

また、図9(b)において、次の式(11)および(12)に示す関係が成立する。

$$\theta 12 = m 12 \cdot \theta 1 = m 22 \cdot \theta 2 \quad (11)$$

$$\phi 6 = m 22 \cdot d 5 \quad (12)$$

【0105】上述の式(10)および(12)を参照すると、照野33のサイズ ϕ がズームレンズ71の倍率 m 2に比例することがわかる。すなわち、図9(a)における照野33のサイズ $\phi 5$ が最大サイズであり、図9(b)における照野33のサイズ $\phi 6$ が最小サイズであることがわかる。

【0106】また、上述の式(9)および(11)を参照すると、 $\theta 1$ の値が不変であるため、所定面32への入射角度 $\theta 2$ がズームレンズ4の倍率 $m 1$ とズームレンズ71の倍率 $m 2$ の比、すなわち $m 1 / m 2$ に依存することがわかる。換言すると、図9(a)における照野33の照明NAは $m 11 / m 21$ に依存し、図9(b)における照野33の照明NAは $m 21 / m 22$ に依存することがわかる。

【0107】以上のように、ズームレンズ71の倍率 $m 2$ を変化させると、マスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさおよび照明NAが変化する。さらに詳細には、ズームレンズ71の倍率 $m 2$ を大きくすると、マスク10上の照明領域が大きくなり、照明NAが小さくなる。このように、ズームレンズ71は、被照射面であるマスク10上に形成される照明領域の大きさを変化させるための第2変倍光学系を構成している。

【0108】一方、ズームレンズ41の倍率 $m 1$ を変化させると、マイクロフライアイ5の入射面に形成される照野の大きさが変化し、マスク10上における照明NAが変化する。さらに詳細には、ズームレンズ41の倍率 $m 1$ を大きくすると、マスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさが変化することなく、マスク10上における照明NAだけが大きくなる。このように、ズームレンズ41は、被照射面であるマスク10上における照明NAだけを変化させるための第1変倍光学系を構

成している。

【0109】したがって、本実施形態では、ズームレンズ71の倍率を所定の値に設定することにより、マスクブラインド8で実質的に光損失することなく、マスク10上において所望の大きさの照明領域を得ることができる。また、所定の値に設定されたズームレンズ7の倍率に対してズームレンズ41の倍率を所定の値に設定することにより、マスク10上において所望の大きさの照明NAを得ることができる。

【0110】なお、図8に示す第3の実施の形態においても、図1に示す第1実施の形態と同様に、露光条件又は照明条件を変更するために、変更手段又は光束変換手段(例えば、円形光束形成用の回折光学部材3、輪帯光束形成用の回折光学部材3a、および4極光束形成用の回折光学部材3bの1つを照明光路に設定する機構等)によって照明光学系の瞳位置(オプティカルインテグレータにより形成される二次光源位置またはそれと光学的に共役な位置)又はその位置近傍での光強度分布を変更すると、照明開口数NAが変化する場合がある。その露光条件又は照明条件の変更に伴う照明開口数の変化を、調整手段としての第1変倍光学系41の倍率又は焦点距離の調整(変更)によって補正することができる。

【0111】以上のように、図1および図8に示す実施の形態において、第2変倍光学系(7、71)による照明視野の変更に伴う照明開口数の値の変化を、第1変倍光学系(4、41)の倍率又は焦点距離の調整(変更)によって補正して、照明開口数の値をほぼ一定に保つことができる。従って、このような特定の条件下でも高照明効率のもとで投影露光を行うこともできる。

【0112】ところで、変更手段又は光束変換手段(例えば、円形光束形成用の回折光学部材3、輪帯光束形成用の回折光学部材3a、および4極光束形成用の回折光学部材3bの1つを照明光路に設定する機構等)によってマスク上又はウエハ上での照度分布が変化して照度が不均一となる事がある。その場合、第2コンデンサー光学系(変倍光学系7、70)又はリレー光学系(結像光学系9)の一部の光学素子(レンズ等)を移動させる手法、あるいはオプティカルインテグレータ(5、50、500)とマスク10との間の光路中に照度分布調整用の所定の角度特性を持つ複数のフィルターを交換可能に設ける手法によって、マスク上又はウエハ上での照度分布を均一にする事ができる。しかしながら、この照度補正に伴って照明開口数が変化する場合があるため、上記の照度補正手段による照度分布の補正に伴う照明開口数の変化を、第1変倍光学系(第1コンデンサー光学系4、第1結像光学系41)の倍率又は焦点距離の調整(変更)によって補正することができる。

【0113】以上の各実施の形態で示した光束変換手段(変更手段)は、露光用の光束に基づいて、互いに異なる光強度分布を有する複数の光束の内の1つの所望の光

強度分布を有する光束に選択的に変換する機能、換言すれば、露光用の光束を所定の第1の光強度分布を有する光束とその第1の光強度分布とは異なる所定の第2の光強度分布を有する光束とのいずれかを有する光束に変換する機能を有しているため、照明光学系の瞳位置（オプティカルインテグレートにより形成される二次光源位置またはそれと光学的に共役な位置）又はその位置近傍での光強度分布を所望の光強度分布に変更することができる。このような、照明光学系の瞳位置又はその位置近傍での光強度分布の変更を行う光束変換手段（変更手段）は、所望の発散光束を形成する回折光学素子（3、3a、3b）を切り換える構成に限らず、輪帯状の光束を形成し得る凸の円錐状屈折面プリズム（又は凹の円錐状屈折面を持つプリズム）と、4極状の光束を形成し得る凸の4角錐状屈折面プリズム（又は凹の4角錐状屈折面を持つプリズム）とを交換し得る構成としても良い。

【0114】このように、光束変換手段（変更手段）は、回折作用や屈折作用を有する光学部材の1つを選択的に照明光路中に配置する事によって、所望の状態の発散光に変換することができる。さらに、光束変換手段（変更手段）を交換可能な3つの回折光学素子と変倍光学系とを組み合わせた構成とすれば、照明光学系の瞳位置又はその位置近傍に形成される輪帯状光束の輪帯比（輪帯の内径と輪帯の外径との比率）、円形光束の大きさ、4極状光束の中心からの距離を連続的に可変にできる。同様に、光束変換手段（変更手段）を上記の交換可能なプリズム（屈折性光学素子）と変倍光学系とを組み合わせた構成とすることも可能である。

【0115】なお、図1乃至図9に示す各例における各光学部材及び各ステージ等を前述したような機能達成するように、電氣的、機械的または光学的に連結することで、本発明にかかる露光装置を組み上げることができる。また、次に、図1乃至図9に示す各例における露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図10のフローチャートを参照して説明する。

【0116】まず、図10のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、図1乃至図9に示す何れかの投影露光装置を用いて、マスク（レチクル）上のパターンの像がその投影光学系（投影光学ユニット）を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ

上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0117】また、上記の図1乃至図9に示す露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図11のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図11において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてレチクルのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0118】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリクス状に多数配列されたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0119】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0120】なお、上述の実施形態においては、光束変換光学系としての回折光学素子を、たとえばターレット方式で照明光路中に位置決めするように構成することができる。また、たとえば公知のスライド機構を利用して、上述の回折光学素子の挿脱および切り替えを行うこともできる。ところで、本発明で利用することのできる回折光学素子に関する詳細な説明は、米国特許第5,850,

300号公報などに開示されている。また、上述の実施形態では、光束変換光学系として回折光学素子を用いているが、たとえばフライアイレンズやマイクロフライアイのような波面分割型のオプティカルインテグレータを用いることもできる。

【0121】さらに、上述の実施形態では、多光源形成手段として、マイクロフライアイやロッド型インテグレータを用いているが、フライアイレンズや回折光学素子などの他の適当な光学部品を用いることもできる。また、上述の第1実施形態および第2実施形態では、マスク10と共役な所定面に照野を一旦形成し、この照野からの光束をマスクブラインド8で制限した後に、リレー光学系9を介してマスク10上に照野を形成している。しかしながら、リレー光学系9を省略し、ズームレンズ7または70を介して、マスクブラインド8の位置に配置したマスク10上に照野を直接形成する構成も可能である。

【0122】さらに、上述の第3実施形態では、矩形状の断面を有するロッド型インテグレータ500に対して円形状の光束を入射させる構成となっているが、入射光束の充填率を高めるために楕円状の光束に変換して入射させることが好ましい。なお、ロッド型インテグレータは、単一の中実ガラス棒であってもよいし、反射ミラーをトンネル状に組み立てた形態であってもよい。反射ミラーでロッド型インテグレータを形成する場合、必要に応じて、その断面サイズd5を変更可能に構成することができる。

【0123】また、上述の実施形態では、マイクロフライアイの後側焦点面の近傍に、二次光源の光束を制限するための開口絞りを配置している。しかしながら、場合によっては、マイクロフライアイを構成する各微小レンズの断面積を十分小さく設定することにより、開口絞りの配置を省略して二次光源の光束を全く制限しない構成も可能である。

【0124】さらに、上述の実施形態では、4極状の二次光源を形成する例を示しているが、たとえば2極（2つ目）状の二次光源、あるいは8極（8つ目）状のような多重極状の二次光源を形成することもできる。また、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を均一照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

【0125】さて、本実施形態においては、光源としてKrFエキシマレーザ（波長：248nm）やArFエキシマレーザ（波長：193nm）等、波長が180nm以上の露光光を用いているため回折光学素子は例えば石英ガラスで形成することができる。なお、露光光として200nm以下の波長を用いる場合には、回折光学素子を螢石、フッ素がドーパされた石英ガラス、フッ素及び水素がドーパされた石英ガラス、構造決定温度が1200K以下で且つOH基濃

度が1000ppm以上である石英ガラス、構造決定温度が1200K以下で且つ水素分子濃度が 1×10^{17} molecules/cm³以上である石英ガラス、構造決定温度が1200K以下でかつ塩素濃度が50ppm以下である石英ガラス、及び構造決定温度が1200K以下で且つ水素分子濃度が 1×10^{17} molecules/cm³以上で且つ塩素濃度が50ppm以下である石英ガラスのグループから選択される材料で形成することが好ましい。

【0126】なお、構造決定温度が1200K以下で且つOH基濃度が1000ppm以上である石英ガラスについては、本願出願人による特許第2770224号公報に開示されており、構造決定温度が1200K以下で且つ水素分子濃度が 1×10^{17} molecules/cm³以上である石英ガラス、構造決定温度が1200K以下でかつ塩素濃度が50ppm以下である石英ガラス、及び構造決定温度が1200K以下で且つ水素分子濃度が 1×10^{17} molecules/cm³以上で且つ塩素濃度が50ppm以下である石英ガラスについては本願出願人による特許第2936138号公報に開示されている。

【0127】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の照明光学装置では、第1変倍光学系および第2変倍光学系の焦点距離または倍率を制御することにより、光量損失を良好に抑えつつ、照明NAと照明領域の大きさをそれぞれ所望の値に調整することができる。したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、開口絞りや照明視野絞りにおける光量損失を良好に抑えつつ、露光領域の大きさと σ 値とをそれぞれ所望の値に調整することができる。その結果、本発明の露光装置では、製造すべきマイクロデバイスの特性に応じて、あるいは使用するマスクの特性に応じて、照明領域（露光領域）の大きさおよび σ 値をそれぞれ最適な値に設定し、高い露光照度および良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。

【0128】また、本発明の照明光学装置を用いて被照射面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法あるいはマイクロデバイスの製造方法では、良好な露光条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好なマイクロデバイスを製造することができる。さらに、本発明の典型的な実施形態によれば、二次光源を制限するための開口絞りにおける光量損失を良好に抑えつつ、輪帯変形照明や4極変形照明のような変形照明および通常円形照明を行うことができる。したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、変形照明の種類を適宜変化させて、露光投影すべき微細パターンに適した投影光学系の解像度および焦点深度を得ることができる。その結果、高い露光照度および良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。

【0129】所望の露光条件又は所望の照明条件に設定

するために、光束変換手段（変更手段）によって露光用の光束を所望の光強度分布を有する光束に変換した事により照明開口数に変化したとしても、調整手段により照明開口数を調整することができるため、所望の露光条件又は所望の照明条件のもとで常に良好なるマスクパターンをウエハ等の感光性基板に露光でき得る露光装置およびマイクロデバイスの製造方法を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図２】図１の光遅延部２の内部構成および作用を説明する斜視図である。

【図３】第１実施形態における、ズームレンズ４およびズームレンズ７の焦点距離と、マスク１０と共役な所定面に形成される矩形状の照野の大きさおよび照明NAとの関係を説明する図である。

【図４】輪帯変形照明用の回折光学素子３aの作用を説明する図である。

【図５】４極変形照明用の回折光学素子３bの作用を説明する図である。

【図６】本発明の第２実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図７】第２実施形態における、ズームレンズ４およびマイクロフライアイ群５０の焦点距離と、マスク１０と共役な所定面に形成される矩形状の照野の大きさおよび照明NAとの関係を説明する図である。

【図８】本発明の第３実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図９】第３実施形態における、ズームレンズ４１およびズームレンズ７１の倍率と、マスク１０と共役な所定面に形成される矩形状の照野の大きさおよび照明NAとの関係を説明する図である。

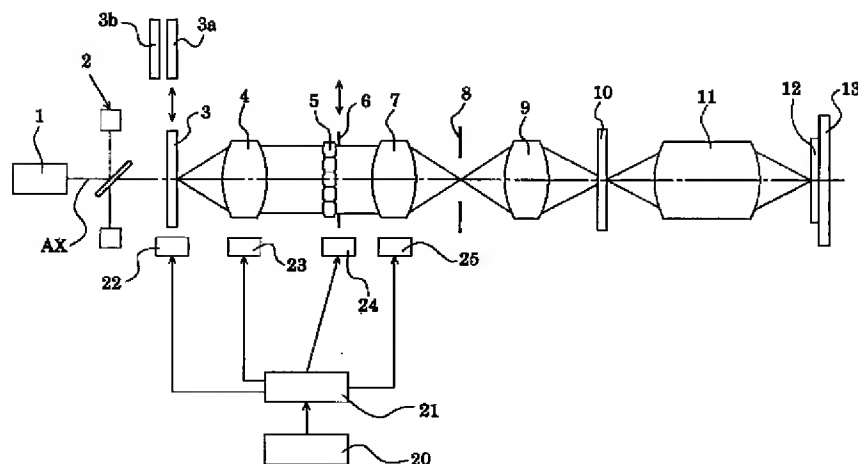
【図１０】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

【図１１】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

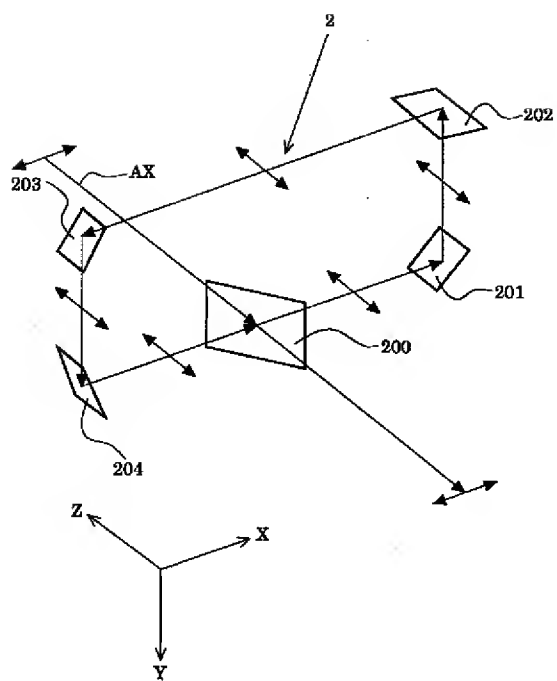
【符号の説明】

- | | |
|-------|-----------|
| １ | 光源 |
| ２ | 光遅延部 |
| ３ | 回折光学素子 |
| ４ | ズームレンズ |
| ５ | マイクロフライアイ |
| ６ | 開口絞り |
| ７ | ズームレンズ |
| ８ | マスクブラインド |
| ９ | リレー光学系 |
| １０ | マスク |
| １１ | 投影光学系 |
| １２ | ウエハ |
| １３ | ウエハステージ |
| ２０ | 入力手段 |
| ２１ | 制御系 |
| ２２～２５ | 駆動系 |

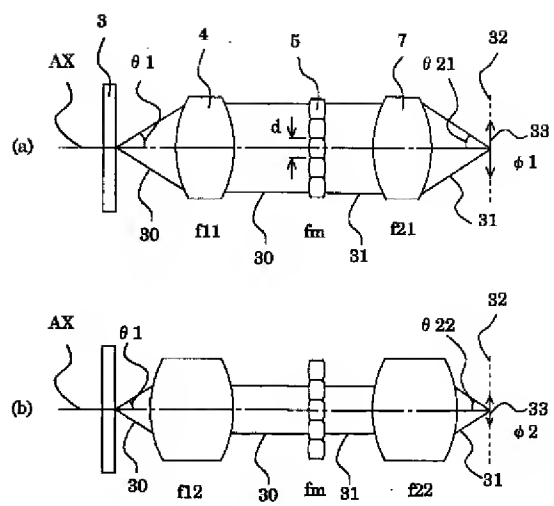
【図１】



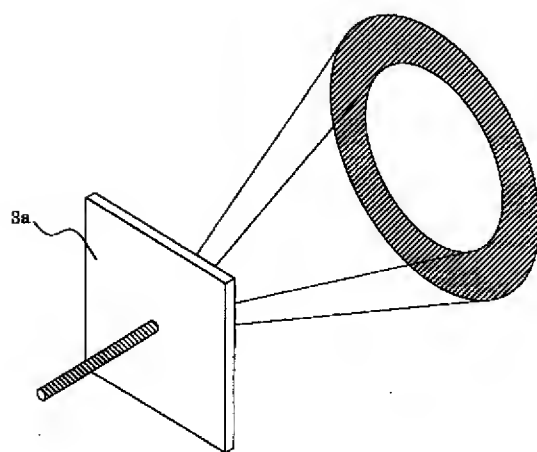
【図2】



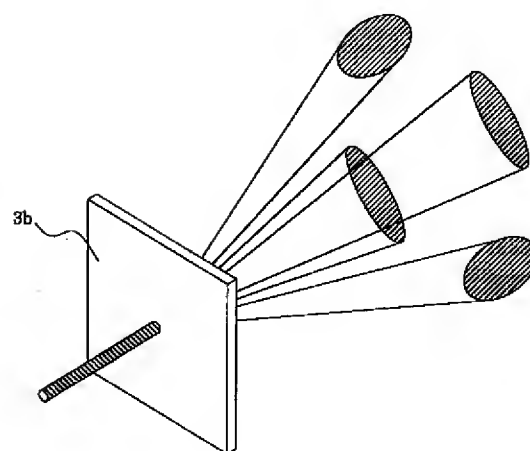
【図3】



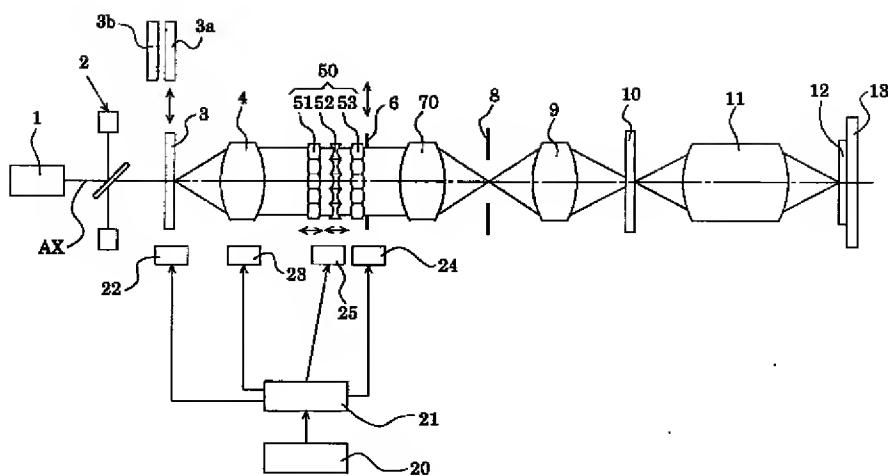
【図4】



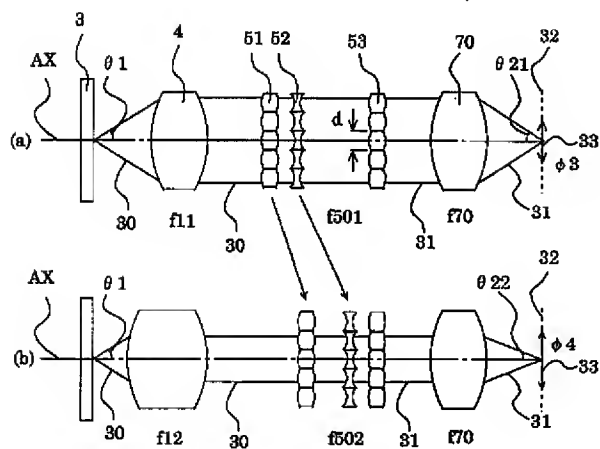
【図5】



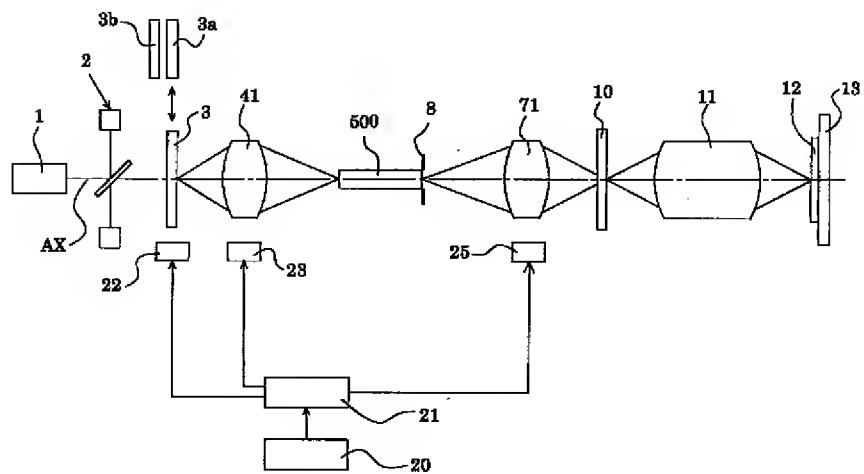
【図 6】



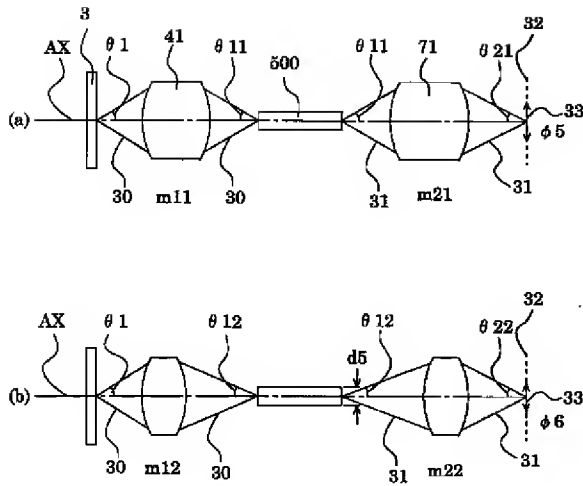
【図 7】



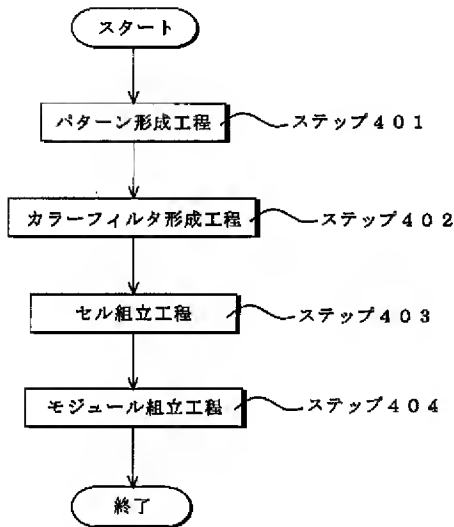
【図 8】



【図 9】



【図 11】



【図 10】

